
(19) KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

KOREAN PATENT ABSTRACTS

(11)Publication number: 1020050005717 A
(43)Date of publication of application: 14.01.2005

(21)Application number: 1020030080550
(22)Date of filing: 14.11.2003

(71)Applicant: ADAPTIVE PLASMA
TECHNOLOGY
CORPORATION
(72)Inventor: KIM, JOON HUN
KIM, NAM HUN

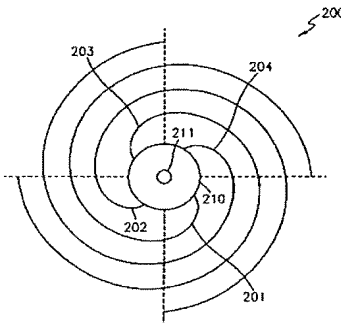
(51)Int. Cl. H01L 21 /02

(54) COIL STRUCTURE FOR GENERATING UNIFORM PLASMA AND PLASMA CHAMBER USING THE SAME FOR MINIMIZING CHANGE RATE OF CD

(57) Abstract:

PURPOSE: A coil structure for generating uniform plasma and a plasma chamber using the same are provided to minimize a change rate of CD by distributing uniformly plasma within a chamber.

CONSTITUTION: A coil structure(200) is used for forming plasma within a predetermined reaction space by using electric power provided from power supply. Unit coils(201-204) of m number are branched from a coil bushing(210) having rotation number of n number and a predetermined radius where m is an integer more than 2. The unit coils are formed around the coil bushing. The unit coils are arranged spirally along a center of the coil bushing. The coil bushing is formed with the same materials as the unit coils.



copyright KIPO 2005

Legal Status

Date of request for an examination (20031114)
Notification date of refusal decision (00000000)
Final disposal of an application (registration)
Date of final disposal of an application (20060106)
Patent registration number (1005558530000)
Date of registration (20060221)
Number of opposition against the grant of a patent ()
Date of opposition against the grant of a patent (00000000)
Number of trial against decision to refuse ()
Date of requesting trial against decision to refuse ()

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.	(45) 공고일자	2006년03월03일
H01L 21/02 (2006.01)	(11) 등록번호	10-0555853
	(24) 등록일자	2006년02월21일

(21) 출원번호	10-2003-0080550	(65) 공개번호	10-2005-0005717
(22) 출원일자	2003년11월14일	(43) 공개일자	2005년01월14일

(30) 우선권주장 1020030042111 2003년06월26일 대한민국(KR)

(73) 특허권자 어댑티브플라즈마테크놀로지 주식회사
경기 수원시 영통구 영통동 1

(72) 발명자 김남현
경기도 수원시 팔달구 영통동 973-3 벽적골 두산아파트 804동 302호

김준현
서울특별시광진구구의2동79-2301호

(74) 대리인 리앤목특허법인
이해영

심사관 : 김교홍

(54) 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조 및 이를 이용한플라즈마 챔버

요약

본 발명의 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조는, 전원으로부터의 전력을 인가 받아 소정의 반응 공간 내에 플라즈마가 균일하게 형성되도록 하기 위한 코일 구조이다. 이 코일 구조는, 2개 이상의 정수인 m개의 단위 코일들이 양의 실수인 n회의 회전수를 가지면서 중앙에서 소정의 반경을 갖는 코일 부싱으로부터 연장되어 상기 코일 부싱을 중심으로 나선 형태의 순환형으로 배치되는 구조를 포함한다.

대표도

도 2

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 일반적인 코일 구조를 갖는 반도체 제조용 플라즈마 설비에서의 플라즈마 밀도와 CD 변화율의 분포를 각각 나타낸 그래프이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조를 나타내 보인 평면도이다.

도 3은 도 2의 코일 구조를 포함하는 플라즈마 챔버를 나타내 보인 단면도이다.

도 4는 도 2의 코일 구조를 포함하는 플라즈마 챔버의 다른 예를 나타내 보인 단면도이다.

도 5a는 본 발명의 다른 실시예에 따른 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조를 나타내 보인 평면도이다.

도 5b는 도 5a의 코일 구조에서 중심으로부터의 방사상 거리에 따른 코일 사이의 간격 변화를 나타내 보인 그래프이다.

도 6a는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조를 나타내 보인 평면도이다.

도 6b 및 도 6c는 도 6a의 코일 구조에서 중심으로부터의 방사상 거리에 따른 코일의 단면적 변화 및 코일 사이의 간격 변화를 각각 나타내 보인 그래프들이다.

도 7a는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조를 나타내 보인 평면도이다.

도 7b 및 도 7c는 도 7a의 코일 구조에서 중심으로부터의 방사상 거리에 따른 코일의 단면적 변화 및 코일 사이의 간격 변화를 각각 나타내 보인 그래프들이다.

도 8a 내지 도 8k는 본 발명에 따른 코일 구조의 코일 부싱의 형상들을 각각 나타내 보인 평면도이다.

도 9a 내지 도 9d는 본 발명에 따른 코일 구조의 코일 부싱의 다른 예들을 각각 나타내 보인 평면도이다.

도 10a 내지 도 10e는 본 발명에 따른 코일 구조의 코일 단면 형상들을 각각 나타내 보인 도면들이다.

도 11 및 도 12는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조를 각각 나타내 보인 평면도이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 챔버의 돔 구조를 나타내 보인 단면도이다.

도 14 내지 도 47는 본 발명의 여러 실시예들에 따른 플라즈마 챔버의 돔 구조들 및 그에 따른 코일 구조들을 나타내 보인 단면도들이다.

도 48a 및 도 48b는 본 발명에 따른 플라즈마 챔버의 적용예를 설명하기 위하여 나타내 보인 단면도들이다.

도 49는 도 15 및 도 17의 플라즈마 챔버를 사용하여 식각공정을 수행한 경우에서의 반도체웨이퍼 위치에 따른 식각률 변화를 각각 나타내 보인 그래프이다.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 반도체 제조를 위한 장치에 관한 것으로서, 특히 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조 및 이를 이용한 플라즈마 챔버에 관한 것이다.

초고집적(ULSI; Ultra-Large Scale Integrate) 회로 소자들의 제조 기술은 지난 20여년 간 눈부신 발전을 거듭하였다. 이는 극한의 기술이 요구되는 공정 기술들을 뒷받침할 수 있는 반도체 제조 설비들이 뒷받침되었기 때문에 가능한 것이었다. 이들 반도체 제조 설비들 중 하나인 플라즈마 챔버는, 주로 사용되던 식각(etching) 공정 이외에도 증착(deposition) 공정 등에서도 사용되는 등 그 적용 범위를 점점 넓여가고 있다.

플라즈마 챔버는, 그 내부에 플라즈마를 형성시키고, 이 플라즈마를 이용하여 식각, 증착 등의 공정들을 수행하기 위한 반도체 제조 설비이다. 이와 같은 플라즈마 챔버는, 플라즈마 발생 소스에 따라 전자 사이클로트론 공진(ECR; Electron

Cyclotron Resonance) 플라즈마 소스, 헬리콘파 여기 플라즈마(HWEP; Helicon-Wave Excited Plasma) 소스, 용량성 결합 플라즈마(CCP; Capacitively Coupled Plasma) 소스, 유도성 결합 플라즈마(ICP; Inductively Coupled Plasma) 소스 등 여러 가지 형태로 분류된다. 이 중 ICP 소스는, 유도 코일에 RF(Radio Frequency) 전력을 공급하여 자기장을 발생시키고, 이 발생된 자기장에 의해 유도된 전기장에 의하여 챔버 내부 중심에 전자를 가두어 낮은 압력에서도 고밀도 플라즈마를 생성시킨다. 이러한 ICP 소스는, ECR 플라즈마 소스나 HWEP 소스와 비교하여 구조적인 면에서 간단하고, 또한 대면적의 플라즈마를 상대적으로 용이하게 얻을 수 있다는 장점으로 인하여 널리 사용되고 있다.

ICP 소스를 채택하고 있는 플라즈마 챔버에 있어서, 공진 회로의 인덕터(inductor)를 구성하는 코일에는 큰 RF 전류가 흐르게 되는데, 이 RF 전류량은 챔버 내부에 생성되는 플라즈마의 분포에 큰 영향을 끼친다. 일반적으로 인덕터를 구성하는 코일 내부에는 자체 저항을 포함하고 있다는 사실은 잘 알려져 있는 사실이다. 따라서 코일 내부를 따라 전류가 흐를 때, 코일을 따라 진행할수록 자체 저항에 의해 에너지 소모가 발생하여 열로 변환되게 되고, 그 결과 코일 내부를 흐르는 전류량은 점점 감소될 수 있다. 이와 같이 코일 내부를 흐르는 전류량이 불균일하게 되면, 챔버 내부에 생성되는 플라즈마 분포도 또한 불균일해질 수 있다.

도 1은 일반적인 코일 구조를 갖는 반도체 제조용 플라즈마 설비에서의 플라즈마 밀도(n_p)와 CD(Critical Dimension)의 변화율(ΔCD)(본 명세서에서 ΔCD 는 공정이 이루어지기 전의 예상 CD와 공정이 이루어진 후의 결과 CD의 차이로 정의한다)의 분포를 각각 나타낸 그래프이다.

도 1에 도시된 바와 같이, 플라즈마 밀도(n_p)를 나타낸 곡선(12)을 관찰하면, 웨이퍼 중심에서 플라즈마 밀도(n_p)가 가장 높은 반면에 웨이퍼 가장자리로 갈수록 플라즈마 밀도(n_p)가 감소한다는 것을 알 수 있다. 또한 CD 변화율(ΔCD)을 나타낸 곡선(14)을 관찰하면, 상기와 같은 방식으로 플라즈마 밀도(n_p)가 불균일해짐에 따라, CD 변화율(ΔCD)도 또한 웨이퍼 중심으로부터 웨이퍼 가장자리로 갈수록 증가한다는 사실을 쉽게 알 수 있다.

지금까지는 이와 같은 플라즈마 불균일에 의해 발생하는 문제를 공정적인 측면에서 해결하고자 하였다. 그러나 리소그래피 공정의 한계 등의 요인들로 인하여 공정적으로 상기와 같은 문제들을 해결하는데는 한계가 있다. 따라서 자체에서 균일한 플라즈마를 형성시킬 수 있는 반도체 제조용 플라즈마 설비가 제공될 필요가 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 챔버 내부에서의 플라즈마 분포를 균일하게 하여, CD 변화율을 최소화할 수 있는 코일 구조를 제공하는 것이다.

본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는, 상기 코일 구조를 이용한 플라즈마 챔버를 제공하는 것이다.

발명의 구성 및 작용

상기 기술적 과제를 달성하기 위하여, 본 발명에 따른 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조는 전원으로부터의 전력을 인가 받아 소정의 반응 공간 내에 플라즈마가 형성되도록 하기 위한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조에 있어서, 2개 이상의 정수인 m 개의 단위 코일들이 양의 실수인 n 회의 회전수를 가지면서 중앙에서 소정의 반경을 갖는 코일 부성으로부터 연장되어 상기 코일 부성을 중심으로 나선 형태의 순환형으로 배치되는 것을 특징으로 한다.

상기 코일 부성은 상기 단위 코일과 동일한 도전성 재질로 이루어진 것이 바람직하다. 이 경우 상기 단위 코일 및 코일 부성은 구리 재질일 수 있다.

상기 코일 부성은 원 형상, 원형의 도넛 형상, 사각 형상, 사각의 도넛 형상, 6각 형상, 6각형의 도넛 형상, 8각 형상 또는 8각의 도넛 형상을 갖는 것이 바람직하다.

상기 단위 코일은 원 형상, 원형의 도넛 형상, 사각 형상, 사각의 도넛 형상 또는 반원의 단면 형상을 갖는 것이 바람직하다.

상기 단위 코일은, 상기 코일 부성으로부터의 방사상 거리가 증가할수록 코일 사이의 간격이 점점 감소되는 배치 구조를 갖는 것이 바람직하다. 이 경우 상기 코일의 단면적은, 상기 공통 중심으로부터 방사상 거리가 증가할수록 점점 더 감소할 수도 있다.

상기 단위 코일은 상기 코일 부싱으로부터의 방사상 거리가 증가할수록 코일의 단면적이 점점 감소되는 구조를 갖는 것이 바람직하다.

상기 다른 기술적 과제를 달성하기 위하여, 본 발명에 따른 플라즈마 챔버는, 측면의 외벽 및 상부의 돔을 가지며, 상기 외벽 및 돔 구조에 의해 플라즈마가 형성되는 반응 공간을 한정하는 챔버; 상기 챔버의 하부에 배치되어 처리될 반도체 웨이퍼를 안착하기 위한 지지대; 상기 돔 위에 배치되어 상기 플라즈마를 형성하기 위한 플라즈마 소스로서 작용하고, 2개 이상의 정수인 m 개의 단위 코일들이 양의 실수인 n 회의 회전수를 가지면서 중앙에서 소정의 반경을 갖는 코일 부싱으로부터 연장되어 상기 코일 부싱을 중심으로 나선 형태의 순환형으로 배치되는 구조의 코일 구조; 상기 코일 부싱의 중앙 일정 영역에 배치된 지지봉; 및 상기 지지봉에 연결되어 상기 코일 구조로 전력을 공급하는 유도 전원을 포함하는 것을 특징으로 한다.

상기 코일 부싱 및 지지봉은 상기 단위 코일과 동일한 도전성 재질로 이루어진 것이 바람직하다. 이 경우 상기 단위 코일, 코일 부싱 및 지지봉은 구리 재질로 이루어질 수 있다.

상기 코일 부싱은 원 형상, 원형의 도넛 형상, 사각 형상, 사각의 도넛 형상, 6각 형상, 6각형의 도넛 형상, 8각 형상 또는 8각의 도넛 형상을 갖는 것이 바람직하다.

상기 단위 코일은 원 형상, 원형의 도넛 형상, 사각 형상, 사각의 도넛 형상 또는 반원의 단면 형상을 갖는 것이 바람직하다.

상기 단위 코일은, 상기 코일 부싱으로부터의 방사상 거리가 증가할수록 코일 사이의 간격이 점점 감소되는 배치 구조를 갖는 것이 바람직하다. 이 경우 상기 코일의 단면적은, 상기 공통 중심으로부터 방사상 거리가 증가할수록 점점 더 감소할 수도 있다.

상기 단위 코일은 상기 코일 부싱으로부터의 방사상 거리가 증가할수록 코일의 단면적이 점점 감소되는 구조를 갖는 것이 바람직하다.

상기 돔은 알루미늄 재질인 것이 바람직하다.

상기 돔은, 제1 유전율을 갖는 재질로 구성되며 상기 반응 공간으로 노출되는 하부돔, 및 상기 제1 유전율과 다른 제2 유전율을 갖는 재질로 구성되며 상기 하부돔 위에 배치되는 상부돔을 포함하는 것이 바람직하다.

이하 첨부 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 그러나, 본 발명의 실시예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래에서 상술하는 실시예들로 인해 한정되어지는 것으로 해석되어져서는 안된다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조를 나타내 보인 평면도이다. 그리고 도 3은 도 2의 코일 구조를 포함하는 플라즈마 챔버를 나타내 보인 단면도이다.

먼저 도 2를 참조하면, 상기 코일 구조(200)는 중앙에 배치된 코일 부싱(coil bushing)(210)과 이 코일 부싱 둘레를 나선형으로 감는 복수개의 단위 코일들(201, 202, 203, 204)을 포함하여 구성된다. 본 실시예에서는 4개의 단위 코일들(201, 202, 203, 204)을 예시적으로 나타내었지만, 반드시 4개에 한정될 필요가 없다는 것은 당연하다. 즉 m 이 정수인 경우, $m \geq 2$ 의 범위 내에서의 m 개일 수 있다. 또한 각각의 단위 코일들(201, 202, 203, 204)은, n 회의 회전수를 가질 수 있는데, 여기서 n 은 양의 실수값을 나타낸다. 따라서 상기 단위 코일들(201, 202, 203, 204)의 회전수는 반드시 정수일 필요는 없으며, 이에 따라 도 2에 도시된 바와 같이 예컨대 1.25회의 회전수를 가질 수도 있다.

상기 코일 부싱(210)은 복수개의 단위 코일들(201, 202, 203, 204)과 동일한 재질로 구성된다. 예컨대 단위 코일들(201, 202, 203, 204)이 구리(copper) 재질로 이루어진 경우 코일 부싱(210)도 구리 재질로 만들 수 있다. 그러나 경우에 따라서는 단위 코일들(201, 202, 203, 204)과는 다른 재질로 만들어질 수도 있는데, 그러나 이 경우에도 도전성 재질을 사용해야 한다. 코일 부싱(210)의 중앙에는 코일 부싱(210)의 상부면에 수직한 방향으로 돌출된 지지봉(211)이 배치된다. 이 지지봉(211) 또한 도전성 재질, 예컨대 구리 재질로 이루어진다.

다음에 도 3을 참조하면, 이와 같은 코일 구조(200)를 갖는 플라즈마 챔버(300)는, 챔버 외벽(302)과 돔(312)에 의해서 일정 크기의 내부 공간(304)이 한정된다. 비록 도면상에는 챔버 내부 공간(304)이 외부로 향하여 개방된 것으로 도시되어 있

으나, 이는 도면을 간단화하기 위한 것으로서, 실제로는 진공 상태를 유지하기 위하여 실질적으로 폐쇄되어 있다. 내부 공간(304) 내에는 처리가 이루어질 일정 패턴들을 갖는 반도체 웨이퍼(308)를 지지하기 위한 웨이퍼 지지대(306)가 하부 공간에 배치된다. 이 웨이퍼 지지대(306)에는 RF 전원(316)이 연결된다.

돔(312)의 외측 표면에는 플라즈마(310) 형성을 위한 단위 코일들(201, 202, 203, 204)이 일정 구조로 배치된다. 단위 코일들(201, 202, 203, 204)의 평면 구조는 도 2를 참조하여 설명한 바와 동일하다. 즉 단위 코일들(201, 202, 203, 204)은 돔(312)의 중앙 상부 표면 위에 위치하는 코일 부싱(211)의 둘레를 나선형으로 감는 구조로 배치된다. 도 3에는 나타나지 않지만, 각 단위 코일들(201, 202, 203, 204)의 일 단부는 코일 부싱(211)에 연결되며, 다른 단부는 접지된다. 코일 부싱(210)의 중앙부에서 그 표면으로부터 수직 방향으로 돌출되도록 지지봉(211)이 배치된다. 이 지지봉(211)에는 RF 전원(314)이 연결된다. 따라서 RF 전원(314)으로부터의 RF 전력이 지지봉(211) 및 코일 부싱(210)을 통하여 단위 코일들(201, 202, 203, 204)로 전달된다.

이와 같은 구조의 플라즈마 챔버(300)에 있어서, RF 전원(314)에 의해 RF 전력을 공급받는 단위 코일들(201, 202, 203, 204)은 전기장을 발생시킨다. 이 전기장은 돔(312)을 통과하여 챔버 내부 공간(304) 내로 유입된다. 챔버 내부 공간(304) 내에 유입된 전기장은 챔버 내부 공간(304) 내의 가스 속에 방전을 발생시켜 가스를 플라즈마화하고, 이로부터 발생된 중성의 라디칼 입자들과 전하를 띤 이온 사이의 화학 반응을 발생시킴으로써 반도체 웨이퍼(308) 표면이 처리되도록 한다. 종래의 플라즈마 챔버의 경우, 챔버 내부 공간 내에 만들어지는 플라즈마 밀도는 웨이퍼 중심 부분에서 높고 웨이퍼 가장자리 부분에서는 낮은 불균일한 밀도 분포를 나타내었다. 그러나 본 발명에 따른 플라즈마 챔버(300)의 경우에는 코일 부싱(211)의 존재로 인하여 웨이퍼 중심 부분에서의 플라즈마 밀도를 감소시켜서 전체적으로 플라즈마 밀도가 균일해진다.

도 4는 도 2의 코일 구조를 포함하는 플라즈마 챔버의 다른 예를 나타내 보인 단면도이다.

도 4를 참조하면, 본 실시예에 따른 플라즈마 챔버의 코일 구조(200)는, 중앙에 배치된 코일 부싱(210')과, 이 코일 부싱(210')으로부터 분지되어 코일 부싱(210') 둘레를 나선형으로 감는 단위 코일들(201, 202, 203, 204)을 포함하여 구성된다. 이는 도 3을 참조하여 설명한 플라즈마 챔버와 동일하다. 그러나 본 실시예에 따른 플라즈마 챔버의 코일 구조(200)의 경우, 코일 부싱(210')은 하부의 제1 코일 부싱(210a)과 상부의 제2 코일 부싱(220b)이 순차적으로 배치된 2층 구조로 이루어진다. 하부의 제1 코일 부싱(210a)과 제2 코일 부싱(220b)은 모두 도전체로 이루어질 수 있다. 그러나 바람직하게는 제1 코일 부싱(210a)은 절연체로 이루어지고 제2 코일 부싱(210b)은 도전체로 이루어진다. 이 경우 단위 코일들(201, 202, 203, 204)은 도전체인 제2 코일 부싱(210b)으로부터 분지된다는 것은 당연하다. 제1 코일 부싱(210a)이 절연체로 이루어진 경우, 도 3에 도시된 바와 같이 단층의 코일 부싱(210)을 사용하는 경우에 비하여 플라즈마 챔버(300) 중심부에서의 플라즈마 밀도의 감소 효과가 보다 더 강화된다.

도 5a는 본 발명의 다른 실시예에 따른 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조를 나타내 보인 평면도로서, 하나의 단위 코일만을 예로서 나타내었다. 도 5b는 도 5a의 코일 구조에서 중심으로부터의 방사상 거리에 따른 코일 사이의 간격 변화를 나타내 보인 그래프이다.

도 5a 및 도 5b에 도시된 바와 같이, 하나의 단위 코일(401)은 중심부에 위치한 코일 부싱(210)으로부터 분지되어 코일 부싱(210)의 둘레를 나선 구조로서 감긴 구조를 갖는다. 특히 상기 단위 코일(401)은, 중심으로부터 x 방향을 향한 방사상 거리(radial distance)가 커질수록 코일 사이의 간격(d)은 점점 줄어드는 구조를 갖는다. 즉 중심을 향할수록 코일 사이의 간격(d)은 점점 커지고, 반대로 중심으로부터 가장자리로 향할수록 코일 사이의 간격(d)은 점점 작아진다. 이에 따라 상대적으로 중심으로부터 방사상 방향으로 멀어질수록 코일(401) 내부를 흐르는 전류 사이의 간격도 줄어들게 된다. 이는 결과적으로 단위 면적을 통과하는 전체 전류량을 증가시키는 것과 동일한 효과를 제공한다. 따라서 중심으로부터 방사상 방향으로 멀어질수록 전류 밀도가 증가하게 되고, 웨이퍼 가장자리에 대응하는 위치에 배치되는 부분에서의 플라즈마 밀도는 증가될 수 있다. 이와 같이 가장자리에서의 플라즈마 밀도의 증대는, 코일 부싱(210)에 의한 중심부에서의 플라즈마 밀도의 감소와 함께, 전체적인 플라즈마 밀도가 균일하게 분포되도록 한다. 비록 도 4a에서는 복수개의 단위 코일들 중 하나의 단위 코일 구조만을 설명하였지만, 나머지 다른 단위 코일들도 동일한 구조를 갖는다는 것은 당연하다.

도 6a는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조를 나타내 보인 평면도로서, 하나의 단위 코일만을 예로서 나타내었다. 도 6b 및 도 6c는 도 6a의 코일 구조에서 중심으로부터의 방사상 거리에 따른 코일의 단면적 변화 및 코일 사이의 간격 변화를 각각 나타내 보인 그래프들이다.

도 6a, 도 6b 및 도 6c를 참조하면, 하나의 단위 코일(501)은 중심부에 위치한 코일 부싱(210)으로부터 분지되어 코일 부싱(210)의 둘레를 나선 구조로서 감긴 구조를 갖는다. 특히 중심으로부터 x 방향을 향하는 방사상 거리가 클수록 코일의 단면적(A)은 점점 감소하는 반면에, 중심으로부터 x 방향을 향하는 방사상 거리가 클수록 코일 사이의 간격(d)은 일정한

거리를 유지하는 구조를 갖는다. 즉 중심에서 가까울수록 코일의 단면적(A)은 점점 커지고, 반대로 중심에서 가장자리를 향해 멀어질수록 코일의 단면적(A)은 점점 작아진다. 이에 따라 전류량은 동일하지만, 중심으로부터 방사상 방향을 향해 멀어질수록 코일(301) 내부를 흐르는 전류의 밀도는 커지게 된다. 따라서 웨이퍼 가장자리에 대응하는 위치에 배치되는 부분에서의 플라스마 밀도는 증가될 수 있다. 이와 같이 가장자리에서의 플라스마 밀도의 증대는, 코일 부상(210)에 의한 중심부에서의 플라스마 밀도의 감소와 함께, 전체적인 플라스마 밀도가 균일하게 분포되도록 한다. 비록 도 6a에서는 복수개의 단위 코일들 중 하나의 단위 코일 구조만을 설명하였지만, 나머지 다른 단위 코일들도 동일한 구조를 갖는다는 것은 당연하다.

도 7a는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 균일한 플라스마 발생을 위한 코일 구조를 나타내 보인 평면도로서, 하나의 단위 코일만을 예로서 나타내었다. 도 7b 및 도 7c는 도 7a의 코일 구조에서 중심으로부터의 방사상 거리에 따른 코일의 단면적 변화 및 코일 사이의 간격 변화를 각각 나타내 보인 그래프들이다.

도 7a, 도 7b 및 도 7c를 참조하면, 하나의 단위 코일(601)은 중심부에 위치한 코일 부상(210)으로부터 분지되어 코일 부상(210)의 둘레를 나선 구조로서 감긴 구조를 갖는다. 즉 중심으로부터 x 방향을 향하여 방사상 거리가 클수록 코일 사이의 간격(d')은 점점 감소한다. 또한 중심으로부터 x 방향을 향하여 방사상 거리가 클수록 코일의 단면적(A')도 점점 감소하는 구조를 갖는다. 결과적으로 본 실시예에 따른 코일 구조는, 도 5a에 도시된 코일 구조 및 도 6a에 도시된 코일 구조가 복합된 구조이다. 따라서 중심으로부터 방사상 방향으로 멀어질수록 코일 내부의 전류 밀도가 증가하는 효과가 가장 현저하게 나타나게 되고, 이에 따라 웨이퍼 가장자리에 대응하는 위치에 배치되는 부분에서의 플라스마 밀도는 가장 높은 비율로 증가될 수 있다. 이와 같이 가장자리에서의 플라스마 밀도의 증대는, 코일 부상(210)에 의한 중심부에서의 플라스마 밀도의 감소와 함께, 전체적인 플라스마 밀도가 균일하게 분포되도록 한다. 비록 도 7a에서는 복수개의 단위 코일들 중 하나의 단위 코일 구조만을 설명하였지만, 나머지 다른 단위 코일들도 동일한 구조를 갖는다는 것은 당연하다.

도 8a 내지 도 8k는 본 발명에 따른 코일 구조의 코일 부상의 형상들을 각각 나타내 보인 평면도이다.

먼저 도 8a에 도시된 바와 같이, 코일 부상(210a)은 단순한 원형의 형상을 가질 수 있다. 이 경우 코일 부상(210a)의 단면적은, 챔버 내부, 특히 웨이퍼 중앙 부분에서의 플라스마 밀도의 분포에 영향을 주는 변수가 된다. 따라서 단면적을 결정하는 다른 변수, 즉 코일 부상(210a)의 반경도 또한 플라스마 밀도 분포에 영향을 준다. 다음에 도 8b에 도시된 바와 같이, 코일 부상(210b)은 중앙의 빈 공간이 한정되도록 하는 원형의 도넛(donut) 형상을 가질 수 있다. 단 중앙의 빈 공간에는 가지들(701)이 배치된다. 본 명세서에서 이와 같이 내부의 일정 공간에서 코일 부상(210b)을 상호 연결시키는 가지들(701)이 배치된 구조를 "메쉬(mesh) 구조"라고 언급하기로 한다. 다음에 도 8c에 도시된 바와 같이, 코일 부상(210c)은, 중앙의 빈 공간이 한정되도록 하는 원형의 도넛 형상을 가질 수 있지만, 단 이 경우 중앙의 빈 공간에는 가지들이 배치되지 않는다는 점에서 도 8b의 코일 부상(210b)과는 다르다. 도 8c의 코일 부상(210c)의 경우 중앙이 완전한 빈 공간이므로 중앙에서의 플라스마 밀도의 감소 효과가 상대적으로 더 큰 반면, 도 8b의 코일 부상(210b)의 경우 중앙에 가지들(701)이 배치되어 있으므로 중앙에서의 플라스마 밀도의 감소 효과가 상대적으로 더 작다.

다음에 도 8d에 도시된 바와 같이, 코일 부상(210d)은 단순한 사각형의 형상을 가질 수 있다. 이 경우 코일 부상(210d)의 단면적은, 챔버 내부, 특히 웨이퍼 중앙 부분에서의 플라스마 밀도의 분포에 영향을 주는 변수가 된다. 따라서 단면적을 결정하는 다른 변수, 즉 코일 부상(210d)의 가로 및/또는 세로 길이도 또한 플라스마 밀도 분포에 영향을 준다. 다음에 도 8e에 도시된 바와 같이, 코일 부상(210e)은 중앙의 빈 공간이 한정되도록 하는 사각 도넛 형상을 가질 수 있다. 단 중앙의 빈 공간에는 가지들(702)이 배치되는 메쉬 구조를 갖는다. 다음에 도 8f에 도시된 바와 같이, 코일 부상(210f)은, 중앙의 빈 공간이 한정되도록 하는 사각 도넛 형상을 가질 수 있지만, 단 이 경우 중앙의 빈 공간에는 가지들이 배치되지 않는다는 점에서 도 8e의 코일 부상(210e)과는 다르다. 도 8f의 코일 부상(210f)의 경우 중앙이 완전한 빈 공간이므로 중앙에서의 플라스마 밀도의 감소 효과가 상대적으로 더 큰 반면, 도 8e의 코일 부상(210e)의 경우 중앙에 가지들(702)이 배치되어 있으므로 중앙에서의 플라스마 밀도의 감소 효과가 상대적으로 더 작다.

다음에 도 8g 내지 도 8k에 도시된 바와 같이, 코일 부상(210g, 210i)은 각각 6각형 및 8각형의 다각형 형상을 가질 수 있다. 그리고 도 8h 및 도 8j에 도시된 바와 같이, 코일 부상(210h, 210j)은 각각 6각형의 도넛 형상 및 8각형의 도넛 형상을 가질 수도 있다. 또한 코일 부상(210k)은 삼각 형상을 가질 수도 있다. 앞서 설명한 경우와 마찬가지로, 도 8h 및 도 8j의 코일 부상(210h, 210j)의 경우 중앙에 빈 공간이 존재하므로, 도 8g 및 도 8i의 코일 부상(210g, 210i)과 비교하여 상대적으로 중앙에서의 플라스마 밀도를 더 감소시킬 수 있다. 한편 도 8a 내지 도 8k에 나타낸 코일 부상의 평면 형상 이외의 다른 형상들을 가질 수도 있다는 것은 당연하다.

도 9a 내지 도 9d는 본 발명에 따른 코일 구조의 코일 부상의 다른 예들을 각각 나타내 보인 평면도이다.

도 9a 내지 도 9d에 도시된 바와 같이, 코일 부상(290a, 290b, 290c, 290d)은 안쪽의 제1 코일 부상(291a, 291b, 291c, 291d) 및 바깥쪽의 제2 코일 부상(292a, 292b, 292c, 292d)으로 이루어진다. 제1 코일 부상(291a, 291b, 291c, 291d)의 바깥쪽면은 제2 코일 부상(292a, 292b, 292c, 292d)의 안쪽면과 직접 접촉한다. 이와 같은 2중 구조로 이루어진 코일 부상(290a, 290b, 290c, 290d)은 각각 원형, 사각형, 5각형 및 6각형 형상으로 이루어지며, 비록 도면상에는 나타내지 않았지만, 이 외의 다른 다각형 형상을 가질 수도 있다는 것은 당연하다. 2중 구조의 코일 부상(290a, 290b, 290c, 290d)에서, 제1 코일 부상(291a, 291b, 291c, 291d)은 절연체로 이루어지고, 제2 코일 부상(292a, 292b, 292c, 292d)은 도전체로 이루어진다. 따라서 RF전원과 연결시키기 위한 지지봉은 제2 코일부상(292a, 292b, 292c, 292d)상에 연결되고, 단위코일들 또한 제2 코일 부상(292a, 292b, 292c, 292d)으로부터 직접 분지된다. 코일 부상(290a, 290b, 290c, 290d)의 중심부에 배치되는 제1 코일 부상(291a, 291b, 291c, 291d)이 절연체로 이루어져 있으므로, 제1 코일 부상(291a, 291b, 291c, 291d)의 면적에 대응되는 플라즈마 챔버 내부의 공간에서의 플라즈마 밀도를 감소된다.

도 10a 내지 도 10e는 본 발명에 따른 코일 구조의 코일 단면 형상들을 각각 나타내 보인 도면들이다.

도 10a 내지 도 10e에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 코일 구조의 단위 코일 각각의 형상은 여러 가지 형상들을 가질 수 있는데, 그 예로서 원형의 단면 형상을 갖는 단위 코일(201a), 원형 도넛의 단면 형상을 갖는 단위 코일(201b), 사각형의 단면 형상을 갖는 단위 코일(201c), 사각형 도넛의 단면 형상을 갖는 단위 코일(201d) 또는 반원 형상을 갖는 단위 코일(201e)이 있으며, 이 외에도 다른 여러 가지 형태들의 단면 형상들을 가질 수도 있다는 것은 당연하다.

도 11 및 도 12는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조를 각각 나타내 보인 평면도이다.

도 11 및 도 12를 참조하면, 본 실시예에 따른 코일 구조(900a, 900b)는 중심부에 배치된 단일 코일(910a, 910b) 및 이 단일 코일(910a, 910b) 둘레를 나선형으로 감도록 배치된 복수개의 단위 코일들(921, 922, 923, 924, 925, 926)을 포함하여 구성된다. 이와 같은 구조는 단일 코일(910a, 910b)로 도 2의 코일 부상(210)을 대체한 구조이다. 도 11에서와 같이, 상기 단일 코일(910a)이 감기는 방향은 반시계 방향일 수 있으며, 또는 도 12에서와 같이, 상기 단일 코일(910b)이 감기는 방향이 시계 방향일 수도 있다. 어느 경우에서나, 복수개의 단위 코일들(921, 922, 923, 924, 925, 926)은 단일 코일(910a, 910b)의 최외각 부분들로부터 연장되어 단일 코일(910a, 910b)의 둘레를 감는다. 본 실시예에서는 6개의 단위 코일들(921, 922, 923, 924, 925, 926)을 나타내었지만, 반드시 6개에 한정될 필요는 없다. 즉 m 이 정수인 경우, 상기 단위 코일들의 개수는 $m \geq 2$ 의 범위 내에서의 m 개일 수 있다. 또한 각각의 단위 코일들(921, 922, 923, 924, 925, 926)은, n 회의 회전을 가질 수 있는데, 여기서 n 은 양의 실수값을 나타낸다. 따라서 상기 단위 코일들(921, 922, 923, 924, 925, 926)의 회전수는 반드시 정수일 필요는 없다.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 챔버의 돔 구조를 나타내 보인 단면도이다.

도 13에 도시된 바와 같이, 본 발명에 따른 플라즈마 챔버(도 3의 300)의 돔(312) 구조는, 서로 다른 유전율(ϵ_1 , ϵ_2)을 갖는 두 개의 물질층으로 이루어진 구조를 가질 수 있다. 보다 구체적으로 상기 돔(312) 구조를 설명하면, 하부에 배치된 하부 돔(312a)의 아래면은 반도체 웨이퍼(도 3의 308)와 대향하면서 반응 공간(도 3의 304) 내에 노출된다. 상부에 배치된 상부 돔(312b)의 상부면은 플라즈마 식각 설비(300) 밖으로 노출된다. 하부 돔(312a)의 상부면과 상부 돔(312b)의 하부면은 상호 접한다. 하부 돔(312a)의 상부면 및 하부면과 상부 돔(312b)의 하부면은 챔버 내부 공간(도 3의 304)을 향해 볼록하게 돌출되는 형상으로 이루어지며, 이와 대조적으로 상부 돔(312b)의 상부면은 평평한 형상으로 이루어진다. 그리고 상기 하부 돔(312a)은 소정의 제1 유전율(ϵ_1)을 갖는 물질, 예컨대 9.3-9.8의 유전율을 갖는 알루미늄(Al_2O_3)로 이루어질 수 있다. 상부 돔(312b)은 제1 유전율(ϵ_1)보다 상대적으로 더 작은 소정의 제2 유전율(ϵ_2)을 갖는 물질, 예컨대 세라믹(ceramic)으로 이루어질 수 있다. 한편 도 13에서와 같은 돔 구조를 갖는 플라즈마 챔버의 경우에도 앞서 설명한 본 발명에 따른 코일 구조들을 채용한다는 것은 당연하다.

도 14 내지 도 47은 본 발명의 여러 실시예들에 따른 플라즈마 챔버의 돔 구조들 및 그에 따른 코일 구조들을 나타내 보인 단면도들이다.

먼저 도 14에 도시된 바와 같이, 플라즈마 챔버의 내부 공간을 향한 하부 표면과 반대되는 표면인 돔(312-11)의 상부 표면 위에는 코일 부상(210-11) 및 평탄막(planarizer)(360-11)이 배치된다. 평탄막(360-11)은 플라스틱 또는 세라믹 재질이며, 경우에 따라서는 빈 공간에 채워진 공기(air)일 수도 있다. 코일 부상(210-11)은 돔(312-11)의 중심 부분에 배치되고, 평탄막(360-11)은 코일 부상(210-11)을 둘러싸도록 배치된다. 돔(312-11)은 알루미늄 재질로 이루어진다. 코일 부상

(210-11)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-11)이 배치된다. 돔(312-11)의 하부면 및 상부면은 모두 평평하며, 코일 부싱(210-11)의 하부면 및 상부면 또한 평평하다. 평탄막(360-11) 위에는 열 방출막(340-11)이 배치되며, 열 방출막(340-11) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-11, 202-11, 203-11)이 배치된다. 상기 복수개의 단위 코일들(201-11, 202-11, 203-11), 코일 부싱(210-11) 및 지지봉(211-11)으로 이루어진 코일 구조의 경우, 도 2, 도 5a, 도 6a, 도 7a, 도 11 및 도 12을 참조하여 설명한 코일 구조가 적용될 수 있다는 것은 당연하며, 이는 도 15 내지 도 47의 다른 구조에서도 동일하게 적용된다.

다음에 도 15에 도시된 바와 같이, 돔(312-12)의 상부 표면 위의 중심 부분에 코일 부싱(210-12)이 배치되는데, 이 코일 부싱(210-12)의 하부면은 평평하지만, 상부면은 상부 방향을 향해 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 그리고 이 볼록한 코일 부싱(210-12)의 상부 표면 중심에 지지봉(211-12)이 배치된다. 코일 부싱(210-12)과는 다르게 돔(312-12)의 하부면 및 상부면은 모두 평평하다. 코일 부싱(210-12)이 없는 돔(312-12)의 나머지 상부 표면 위에는 코일 부싱(210-12)을 둘러싸도록 평탄막(360-12) 및 열 방출막(340-12)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-12) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-12, 202-12, 203-12)이 배치된다.

다음에 도 16에 도시된 바와 같이, 돔(312-13)의 상부 표면 위의 중심 부분에 코일 부싱(210-13)이 배치되는데, 이 코일 부싱(210-13)의 하부면은 아래 방향을 향해 볼록하게 돌출되고, 상부면은 평평한 형상으로 이루어진다. 그리고 이 평평한 코일 부싱(210-13)의 상부 표면 중심에 지지봉(211-13)이 배치된다. 돔(312-13)의 하부면은 평평한 반면, 코일 부싱(210-13)의 상부면 중에서 하부면과 접하는 부분은 아래 방향으로 오목한 형상으로 이루어진다. 코일 부싱(210-13)이 없는 돔(312-13)의 나머지 상부 표면 위에는 코일 부싱(210-13)의 측면을 둘러싸도록 평탄막(360-13) 및 열 방출막(340-13)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-13) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-13, 202-13, 203-13)이 배치된다.

다음에 도 17에 도시된 바와 같이, 돔(312-14)의 상부 표면 위의 중심 부분에 코일 부싱(210-14)이 배치되는데, 이 코일 부싱(210-14)의 하부면은 평평하지만, 상부면은 상부 방향을 향해 오목하게 함몰된 형상으로 이루어진다. 그리고 이 함몰된 코일 부싱(210-14)의 상부 표면 중심에 지지봉(211-14)이 배치된다. 코일 부싱(210-14)과는 다르게 돔(312-14)의 하부면 및 상부면은 모두 평평하다. 코일 부싱(210-14) 둘레에는 평탄막(360-14) 및 열 방출막(340-14)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-14) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-14, 202-14, 203-14)이 배치된다.

다음에 도 18에 도시된 바와 같이, 돔(312-15)의 상부 표면 위의 중심 부분에 유전체막(350-11) 및 코일 부싱(210-15)이 순차적으로 배치된다. 유전체막(350-11)은 플라스틱 또는 세라믹 재질이며, 경우에 따라서는 빈 공간에 채워진 공기(air)일 수도 있다. 돔(312-15)의 상부면 및 하부면은 모두 평평하며, 유전체막(350-11)의 하부면 또한 평평하다. 그러나 유전체막(350-11)의 상부면은 위 방향을 향해 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 마찬가지로 코일 부싱(210-15)의 상부면도 위 방향을 향해 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 유전체막(350-11)의 상부면과 접하는 코일 부싱(210-15)의 하부면은 위 방향으로 향해 오목하게 함몰된 형상으로 이루어진다. 볼록하게 돌출된 코일 부싱(210-15)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-15)이 배치된다. 코일 부싱(210-15) 둘레에는 평탄막(360-15) 및 열 방출막(340-15)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-15) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-15, 202-15, 203-15)이 배치된다.

다음에 도 19에 도시된 바와 같이, 돔(312-16)의 상부 표면 위의 중심 부분에 세라믹층(360-11)이 삽입되며, 그 위에 코일 부싱(210-16) 및 유전체막(350-12)이 순차적으로 배치된다. 세라믹층(360-11)은 다른 절연 물질층일 수 있다. 유전체막(350-12)은 플라스틱 또는 세라믹 재질이며, 경우에 따라서는 빈 공간에 채워진 공기(air)일 수도 있다. 돔(312-16)의 하부면은 평평하며, 세라믹층(360-11)의 상부면도 또한 평평하다. 세라믹층(360-11) 위에 배치된 코일 부싱(210-16)의 상부면은 오목하게 함몰된 형상으로 이루어진다. 코일 부싱(210-16) 위에 배치된 유전체막(350-12)의 상부면은 평평하다. 이 평평한 유전체막(350-12)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-16)이 배치된다. 코일 부싱(210-16) 둘레에는 평탄막(360-16) 및 열 방출막(340-16)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-16) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-16, 202-16, 203-16)이 배치된다.

다음에 도 20에 도시된 바와 같이, 돔(312-17)의 상부 표면 위의 중심 부분에 유전체막(350-13) 및 코일 부싱(210-17)이 순차적으로 배치된다. 돔(312-17)의 하부면은 평평하며, 상부면의 중심 부분은 오목하게 함몰된 형상으로 이루어진다. 이 함몰된 부분 위에 배치되는 유전체막(350-13)의 상부면은 평평하다. 유전체막(350-13) 위에 배치되는 코일 부싱(210-17)의 상부면은 위 방향을 향해 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 볼록하게 돌출된 코일 부싱(210-17)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-17)이 배치된다. 코일 부싱(210-17) 둘레에는 평탄막(360-17) 및 열 방출막(340-17)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-17) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-17, 202-17, 203-17)이 배치된다.

다음에 도 21에 도시된 바와 같이, 돔(312-18)의 상부 표면 위의 중심 부분에 유전체막(350-14) 및 코일 부싱(210-18)이 순차적으로 배치된다. 돔(312-18)의 하부면 및 상부면은 모두 평평하다. 돔(312-18) 위에 배치되는 유전체막(350-14)의

상부면은 위 방향을 향해 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 반면에 유전체막(350-14) 위에 배치되는 코일 부상(210-18)의 상부면 및 하부면은 각각 오목하게 함몰된 형상으로 이루어진다. 오목하게 함몰된 코일 부상(210-18)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-18)이 배치된다. 코일 부상(210-18) 둘레에는 평탄막(360-18) 및 열 방출막(340-18)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-18) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-18, 202-18, 203-18)이 배치된다.

다음에 도 22에 도시된 바와 같이, 돔(312-19)의 상부 표면 위의 중심 부분에 유전체막(350-15)이 배치된다. 코일 부상(210-19)도 돔(312-19)의 상부 표면 위에서 유전체막(350-15)을 완전히 덮도록 배치된다. 돔(312-19)의 하부면 및 상부면과, 유전체막(350-15)의 상부면 및 하부면과, 그리고 코일 부상(210-19)의 상부면 및 하부면은 모두 평평하다. 평평한 코일 부상(210-19)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-19)이 배치된다. 코일 부상(210-19) 둘레에는 평탄막(360-19) 및 열 방출막(340-19)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-19) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-19, 202-19, 203-19)이 배치된다.

다음에 도 23에 도시된 바와 같이, 돔(312-20)의 상부 표면 위의 중심 부분에 유전체막(350-16)이 배치된다. 코일 부상(210-20)도 돔(312-20)의 상부 표면 위에서 유전체막(350-16)을 완전히 덮도록 배치된다. 돔(312-20)의 하부면 및 상부면과, 유전체막(350-16)의 상부면 및 하부면과, 그리고 코일 부상(210-20)의 하부면은 모두 평평하다. 그러나 코일 부상(210-20)의 상부면은 위 방향을 향해 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 볼록한 코일 부상(210-20)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-20)이 배치된다. 코일 부상(210-20) 둘레에는 평탄막(360-20) 및 열 방출막(340-20)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-20) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-20, 202-20, 203-20)이 배치된다.

다음에 도 24에 도시된 바와 같이, 돔(312-21)의 상부 표면 위의 중심 부분에 유전체막(350-17)이 배치된다. 코일 부상(210-21)도 돔(312-21)의 상부 표면 위에서 유전체막(350-17)을 완전히 덮도록 배치된다. 돔(312-21)의 하부면 및 상부면과, 유전체막(350-17)의 상부면 및 하부면과, 그리고 코일 부상(210-21)의 하부면은 모두 평평하다. 그러나 코일 부상(210-21)의 상부면은 챔버 내부 방향을 향해 오목하게 함몰된 형상으로 이루어진다. 오목한 코일 부상(210-21)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-21)이 배치된다. 코일 부상(210-21) 둘레에는 평탄막(360-21) 및 열 방출막(340-21)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-21) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-21, 202-21, 203-21)이 배치된다.

다음에 도 25에 도시된 바와 같이, 돔(312-22)의 상부 표면 위의 중심 부분에 유전체막(350-18)이 배치된다. 코일 부상(210-22)도 돔(312-22)의 상부 표면 위에서 유전체막(350-18)을 완전히 덮도록 배치된다. 돔(312-22)의 하부면 및 상부면과, 유전체막(350-18)의 하부면과, 그리고 코일 부상(210-22)의 상부면은 모두 평평하다. 그러나 유전체막(350-18)의 상부면은 위 방향을 향해 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 그리고 이 유전체막(350-18)의 상부면과 접하는 코일 부상(210-22)의 하부면은 챔버 외부 방향을 향해 오목하게 함몰된 형상으로 이루어진다. 오목한 코일 부상(210-22)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-22)이 배치된다. 코일 부상(210-22) 둘레에는 평탄막(360-22) 및 열 방출막(340-22)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-22) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-22, 202-22, 203-22)이 배치된다.

다음에 도 26에 도시된 바와 같이, 돔(312-23)의 상부 표면 위의 중심 부분에 유전체막(350-19) 및 코일 부상(210-23)이 순차적으로 배치된다. 돔(312-23)의 하부면은 평평하며, 상부면의 중심 부분은 오목하게 함몰된 형상으로 이루어진다. 이 함몰된 부분 위에 배치되는 유전체막(350-19)의 상부면은 평평하다. 유전체막(350-19) 위에 배치되는 코일 부상(210-23)의 상부면도 또한 평평하다. 평평한 코일 부상(210-23)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-23)이 배치된다. 코일 부상(210-23) 둘레에는 평탄막(360-23) 및 열 방출막(340-23)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-23) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-23, 202-23, 203-23)이 배치된다.

다음에 도 27에 도시된 바와 같이, 돔(312-24)의 하부 표면은 평평하지만 상부 표면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어지며, 이 볼록한 상부 표면 위의 중심 부분에는 유전체막(350-20)이 배치된다. 코일 부상(210-24)도 돔(312-24)의 상부 표면 위에서 유전체막(350-20)을 완전히 덮도록 배치된다. 유전체막(350-20)의 상부면 및 코일 부상(210-24)의 상부면은 모두 평평하다. 평평한 코일 부상(210-24)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-24)이 배치된다. 코일 부상(210-24) 둘레에는 평탄막(360-24) 및 열 방출막(340-24)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-24) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-24, 202-24, 203-24)이 배치된다.

다음에 도 28에 도시된 바와 같이, 돔(312-25)의 하부 표면은 평평하지만 상부 표면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어지며, 이 볼록한 상부 표면 위의 중심 부분에는 유전체막(350-21)이 배치된다. 코일 부상(210-25)도 돔(312-25)의 상부 표면 위에서 유전체막(350-21)을 완전히 덮도록 배치된다. 유전체막(350-21)의 상부면 또한 돔(312-25)과 같이 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 코일 부상(210-25)의 상부면은 평평하다. 평평한 코일 부상(210-25)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-25)이 배치된다. 코일 부상(210-25) 둘레에는 평탄막(360-25) 및 열 방출막(340-25)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-25) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-25, 202-25, 203-25)이 배치된다.

다음에 도 29에 도시된 바와 같이, 돔(312-26)의 하부 표면은 평평하지만 상부 표면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어지며, 이 돔(312-26)의 상부 표면의 중심 부분에는 유전체막(350-22)이 삽입되어 있다. 이 유전체막(350-22)의 하부면은 챔버 내부를 향해 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 유전체막(350-22) 위에는 코일 부싱(210-26)이 배치된다. 유전체막(350-22)의 상부면과 접하는 코일 부싱(210-26)의 하부면은 오목하게 함몰된 형상을 갖는다. 코일 부싱(210-26)의 상부면은 평평하다. 평평한 코일 부싱(210-26)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-26)이 배치된다. 코일 부싱(210-26) 둘레에는 평탄막(360-26) 및 열 방출막(340-26)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-26)의 상부면은 평평하지만, 돔(312-26)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-26) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-26, 202-26, 203-26)이 배치된다.

다음에 도 30에 도시된 바와 같이, 돔(312-27)의 하부 표면은 평평하지만 상부 표면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 돔(312-27)의 상부 표면의 중심 부분 위에는 코일 부싱(210-27)이 배치된다. 코일 부싱(210-27)의 하부면은 오목하게 함몰된 형상을 가지며, 상부면은 평평하다. 평평한 코일 부싱(210-27)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-27)이 배치된다. 코일 부싱(210-27) 둘레에는 평탄막(360-27) 및 열 방출막(340-27)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-27)의 상부면은 평평하지만, 돔(312-27)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-27) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-27, 202-27, 203-27)이 배치된다.

다음에 도 31에 도시된 바와 같이, 돔(312-28)의 하부 표면은 평평하지만 상부 표면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 그러나 돔(312-28)의 상부 중심 부분은 오목하게 함몰되는 형상으로 이루어진다. 이 함몰된 부분 위에 코일 부싱(210-28)이 배치된다. 따라서 코일 부싱(210-28)의 하부면은 챔버 내부 방향을 향해 볼록하게 돌출되는 형상을 가진다. 이와는 대조적으로 코일 부싱(210-28)의 상부면은 오목하게 함몰된 형상을 갖는다. 오목한 코일 부싱(210-28)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-28)이 배치된다. 코일 부싱(210-28) 둘레에는 평탄막(360-28) 및 열 방출막(340-28)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-28)의 상부면은 평평하지만, 돔(312-28)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-28) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-28, 202-28, 203-28)이 배치된다.

다음에 도 32에 도시된 바와 같이, 돔(312-29)의 하부 표면은 평평하지만 상부 표면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어지며, 이 볼록한 상부 표면 위의 중심 부분에는 유전체막(350-23)이 배치된다. 코일 부싱(210-29)도 돔(312-29)의 상부 표면 위에서 유전체막(350-23)을 완전히 덮도록 배치된다. 유전체막(350-23)의 상부면 또한 돔(312-29)과 같이 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 코일 부싱(210-29)의 상부면도 마찬가지로 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 돌출된 코일 부싱(210-29)의 상부 중심에는 지지봉(211-29)이 삽입된다. 코일 부싱(210-29) 둘레에는 평탄막(360-29) 및 열 방출막(340-29)이 순차적으로 배치되며, 열 방출막(340-29) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-29, 202-29, 203-29)이 배치된다.

다음에 도 33에 도시된 바와 같이, 돔(312-30)의 하부 표면은 평평하지만 상부 표면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어지며, 이 돔(312-30)의 상부 표면의 중심 부분에는 유전체막(350-24)이 삽입되어 있다. 이 유전체막(350-24)의 하부면은 챔버 내부를 향해 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 유전체막(350-24) 위에는 코일 부싱(210-30)이 배치된다. 유전체막(350-24)의 상부면과 접하는 코일 부싱(210-30)의 하부면은 오목하게 함몰된 형상을 갖는다. 코일 부싱(210-30)의 상부면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 돌출된 코일 부싱(210-30)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-30)이 배치된다. 코일 부싱(210-30) 둘레에는 평탄막(360-30) 및 열 방출막(340-30)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-30)의 상부면은 평평하지만, 돔(312-30)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-30) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-30, 202-30, 203-30)이 배치된다.

다음에 도 34에 도시된 바와 같이, 돔(312-31)의 하부 표면은 평평하지만 상부 표면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어지며, 이 돔(312-31)의 상부 표면의 중심 부분에는 유전체막(350-25)이 삽입되어 있다. 이 유전체막(350-25)의 하부면은 챔버 내부를 향해 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 유전체막(350-25) 위에는 코일 부싱(210-31)이 배치된다. 유전체막(350-25)의 상부면과 접하는 코일 부싱(210-31)의 하부면은 오목하게 함몰된 형상을 갖는다. 코일 부싱(210-31)의 상부면 또한 오목하게 함몰된 형상으로 이루어진다. 돌출된 코일 부싱(210-31)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-31)이 배치된다. 코일 부싱(210-31) 둘레에는 평탄막(360-31) 및 열 방출막(340-31)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-31)의 상부면은 평평하지만, 돔(312-31)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-31) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-31, 202-31, 203-31)이 배치된다.

다음에 도 35에 도시된 바와 같이, 하부돔(312a-11) 및 상부돔(312b-11)이 순차적으로 배치된다. 하부돔(312a-11)은 알루미늄 재질로 이루어지고, 상부돔(312b-11)은 세라믹 재질로 이루어지지만, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 하부돔(312a-11)의 하부면은 챔버 내부로 노출되며, 상부면은 상부돔(312b-11)의 하부면과 접한다. 하부돔(312a-11)의 상부

면과 하부면, 그리고 상부돔(312b-11)의 하부면은 평평하다. 그러나 상부돔(312b-11)의 상부면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 상부돔(312b-11) 위에는 코일 부싱(210-32)이 배치된다. 상부돔(312b-11)의 상부면과 접하는 코일 부싱(210-32)의 하부면은 오목하게 함몰된 형상을 갖는다. 코일 부싱(210-32)의 상부면은 평평한 형상으로 이루어진다. 평평한 코일 부싱(210-32)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-32)이 배치된다. 코일 부싱(210-32) 둘레에는 평탄막(360-32) 및 열 방출막(340-32)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-32)의 상부면은 평평하지만, 상부돔(312b-11)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-32) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-32, 202-32, 203-32)이 배치된다.

다음에 도 36에 도시된 바와 같이, 하부돔(312a-12) 및 상부돔(312b-12)이 순차적으로 배치된다. 하부돔(312a-12)의 상부면과 하부면, 그리고 상부돔(312b-12)의 하부면은 평평하다. 그러나 상부돔(312b-12)의 상부면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 상부돔(312b-12) 상부면 위의 중심 부분에는 유전체막(350-26) 및 코일 부싱(210-33)이 순차적으로 배치된다. 유전체막(350-26)의 상부면 또한 상부돔(312b-12)의 상부면과 같이 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 코일 부싱(210-33)의 상부면은 평평하다. 평평한 코일 부싱(210-33)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-33)이 배치된다. 평탄막(360-33)의 상부면은 평평하지만, 상부돔(312b-12)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 코일 부싱(210-33) 둘레에는 평탄막(360-33) 및 열 방출막(340-33)이 순차적으로 배치된다. 열 방출막(340-33) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-33, 202-33, 203-33)이 배치된다.

다음에 도 37에 도시된 바와 같이, 하부돔(312a-13) 및 상부돔(312b-13)이 순차적으로 배치된다. 하부돔(312a-13)의 상부면과 하부면, 그리고 상부돔(312b-13)의 하부면은 평평하다. 그러나 상부돔(312b-13)의 상부면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 상부돔(312b-13)의 상부 표면의 중심 부분에는 유전체막(350-27)이 삽입되어 있다. 이 유전체막(350-27)의 하부면은 챔버 내부를 향해 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 유전체막(350-27)의 상부면 위에는 코일 부싱(210-34)이 배치된다. 유전체막(350-27)의 상부면과 접하는 코일 부싱(210-34)의 하부면은 오목하게 함몰된 형상을 갖는 반면, 코일 부싱(210-34)의 상부면은 평평하다. 코일 부싱(210-34)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-34)이 배치된다. 코일 부싱(210-34) 둘레에는 평탄막(360-34) 및 열 방출막(340-34)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-34)의 상부면은 평평하지만, 상부돔(312b-13)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-34) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-34, 202-34, 203-34)이 배치된다.

다음에 도 38에 도시된 바와 같이, 하부돔(312a-14) 및 상부돔(312b-14)이 순차적으로 배치된다. 하부돔(312a-14)의 하부면은 챔버 내부로 노출되며, 상부면은 상부돔(312b-14)의 하부면과 접한다. 하부돔(312a-14)의 상부면과 하부면, 그리고 상부돔(312b-14)의 하부면은 평평하다. 그러나 상부돔(312b-14)의 상부면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 상부돔(312b-14) 위에는 코일 부싱(210-35)이 배치된다. 상부돔(312b-14)의 상부면과 접하는 코일 부싱(210-35)의 하부면은 오목하게 함몰된 형상을 갖는다. 코일 부싱(210-35)의 상부면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 돌출된 코일 부싱(210-35)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-35)이 삽입된다. 코일 부싱(210-35) 둘레에는 평탄막(360-35) 및 열 방출막(340-35)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-35)의 상부면은 평평하지만, 상부돔(312b-14)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-35) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-35, 202-35, 203-35)이 배치된다.

다음에 도 39에 도시된 바와 같이, 하부돔(312a-15) 및 상부돔(312b-15)이 순차적으로 배치된다. 하부돔(312a-15)의 상부면과 하부면, 그리고 상부돔(312b-15)의 하부면은 평평하다. 그러나 상부돔(312b-15)의 상부면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 상부돔(312b-15)의 상부 표면의 중심 부분에는 유전체막(350-28)이 삽입되어 있다. 이 유전체막(350-28)의 하부면은 챔버 내부를 향해 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 유전체막(350-28)의 상부면 위에는 코일 부싱(210-36)이 배치된다. 유전체막(350-28)의 상부면과 접하는 코일 부싱(210-36)의 하부면과 코일 부싱(210-36)의 상부면은 모두 오목하게 함몰된 형상으로 이루어진다. 코일 부싱(210-36)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-36)이 배치된다. 코일 부싱(210-36) 둘레에는 평탄막(360-36) 및 열 방출막(340-36)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-36)의 상부면은 평평하지만, 상부돔(312b-15)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-36) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-36, 202-36, 203-36)이 배치된다.

다음에 도 40에 도시된 바와 같이, 하부돔(312a-16) 및 상부돔(312b-16)이 순차적으로 배치된다. 하부돔(312a-16)의 상부면과 하부면, 그리고 상부돔(312b-16)의 하부면은 평평하다. 그러나 상부돔(312b-16)의 상부면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 상부돔(312b-16) 위에는 코일 부싱(210-37)이 배치된다. 상부돔(312b-16)의 상부면과 접하는 코일 부싱(210-37)의 하부면과, 코일 부싱(210-37)의 상부면은 모두 오목하게 함몰된 형상을 갖는다. 함몰된 코일 부싱(210-37)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-37)이 삽입된다. 코일 부싱(210-37) 둘레에는 평탄막(360-37) 및 열 방출막(340-37)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-37)의 상부면은 평평하지만, 상부돔(312b-16)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-37) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-37, 202-37, 203-37)이 배치된다.

다음에 도 41에 도시된 바와 같이, 하부돔(312a-17) 및 상부돔(312b-17)이 순차적으로 배치된다. 하부돔(312a-17)의 상부면과 하부면, 그리고 상부돔(312b-17)의 하부면은 평평하다. 그러나 상부돔(312b-17)의 상부면은 볼록하게 돌출되며, 된 형상으로 이루어진다. 상부돔(312b-15)의 상부 표면의 중심 부분에는 유전체막(350-29)이 삽입되어 있다. 이 유전체막(350-29)의 하부면은 챔버 내부를 향해 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 유전체막(350-29)의 상부면 위에는 코일 부상(210-38)이 배치된다. 유전체막(350-29)의 상부면과 접하는 코일 부상(210-38)의 하부면은 오목하게 함몰된 형상을 갖지만, 코일 부상(210-38)의 상부면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 코일 부상(210-38)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-38)이 삽입된다. 코일 부상(210-38) 둘레에는 평탄막(360-38) 및 열 방출막(340-38)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-38)의 상부면은 평평하지만, 상부돔(312b-17)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-38) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-38, 202-38, 203-38)이 배치된다.

다음에 도 42에 도시된 바와 같이, 하부돔(312a-18) 및 상부돔(312b-18)이 순차적으로 배치된다. 하부돔(312a-18)의 하부면은 평평하지만, 하부면(312a-18)의 상부면과 상부돔(312b-18)의 상부면은 모두 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 상부돔(312b-18) 위에는 코일 부상(210-39)이 배치된다. 상부돔(312b-18)의 상부면과 접하는 코일 부상(210-39)의 하부면은 오목하게 함몰된 형상을 갖지만, 코일 부상(210-39)의 상부면은 평평한 형상을 갖는다. 평평한 코일 부상(210-39)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-39)이 삽입된다. 코일 부상(210-39) 둘레에는 평탄막(360-39) 및 열 방출막(340-39)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-39)의 상부면은 평평하지만, 상부돔(312b-18)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-39) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-39, 202-39, 203-39)이 배치된다.

다음에 도 43에 도시된 바와 같이, 하부돔(312a-19) 및 상부돔(312b-19)이 순차적으로 배치된다. 하부돔(312a-19)의 하부면은 평평하지만, 하부면(312a-19)의 상부면과 상부돔(312b-19)의 상부면은 모두 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 상부돔(312b-19) 위에는 코일 부상(210-40)이 배치된다. 상부돔(312b-19)의 상부면과 접하는 코일 부상(210-40)의 하부면은 오목하게 함몰된 형상을 갖는다. 코일 부상(210-40)의 상부면은 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 돌출된 코일 부상(210-40)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-40)이 삽입된다. 코일 부상(210-40) 둘레에는 평탄막(360-40) 및 열 방출막(340-40)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-40)의 상부면은 평평하지만, 상부돔(312b-19)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-40) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-40, 202-40, 203-40)이 배치된다.

다음에 도 44에 도시된 바와 같이, 하부돔(312a-20) 및 상부돔(312b-20)이 순차적으로 배치된다. 하부돔(312a-20)의 하부면은 평평하지만, 하부면(312a-20)의 상부면과 상부돔(312b-20)의 상부면은 모두 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 상부돔(312b-20) 위에는 코일 부상(210-41)이 배치된다. 상부돔(312b-20)의 상부면과 접하는 코일 부상(210-41)의 하부면과, 코일 부상(210-41)의 상부면은 모두 오목하게 함몰된 형상을 갖는다. 함몰된 코일 부상(210-41)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-41)이 삽입된다. 코일 부상(210-41) 둘레에는 평탄막(360-41) 및 열 방출막(340-41)이 순차적으로 배치된다. 평탄막(360-41)의 상부면은 평평하지만, 상부돔(312b-20)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 열 방출막(340-41) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-41, 202-41, 203-41)이 배치된다.

다음에 도 45에 도시된 바와 같이, 하부돔(312a-21) 및 상부돔(312b-21)이 순차적으로 배치된다. 하부돔(312a-21)의 하부면은 평평하지만, 하부면(312a-21)의 상부면과 상부돔(312b-21)의 상부면은 모두 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 상부돔(312b-21) 상부면 위의 중심 부분에는 유전체막(350-30) 및 코일 부상(210-41)이 순차적으로 배치된다. 유전체막(350-30)의 상부면 또한 상부돔(312b-21)의 상부면과 같이 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 코일 부상(210-42)의 상부면은 평평하다. 평평한 코일 부상(210-42)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-42)이 배치된다. 평탄막(360-42)의 상부면은 평평하지만, 상부돔(312b-21)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 코일 부상(210-42) 둘레에는 평탄막(360-42) 및 열 방출막(340-42)이 순차적으로 배치된다. 열 방출막(340-43) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-42, 202-42, 203-42)이 배치된다.

다음에 도 46에 도시된 바와 같이, 하부돔(312a-22) 및 상부돔(312b-22)이 순차적으로 배치된다. 하부돔(312a-22)의 하부면은 평평하지만, 하부면(312a-22)의 상부면과 상부돔(312b-22)의 상부면은 모두 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 상부돔(312b-22) 상부면 위의 중심 부분에는 유전체막(350-31) 및 코일 부상(210-43)이 순차적으로 배치된다. 유전체막(350-31)의 상부면 또한 상부돔(312b-22)의 상부면과 같이 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 마찬가지로 코일 부상(210-43)의 상부면도 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 돌출된 코일 부상(210-43)의 상부 표면 중심에는 지지봉(211-43)이 배치된다. 평탄막(360-43)의 상부면은 평평하지만, 상부돔(312b-22)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 코일 부상(210-43) 둘레에는 평탄막(360-43) 및 열 방출막(340-43)이 순차적으로 배치된다. 열 방출막(340-43) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-43, 202-43, 203-43)이 배치된다.

다음에 도 47에 도시된 바와 같이, 하부돔(312a-23) 및 상부돔(312b-23)이 순차적으로 배치된다. 하부돔(312a-23)의 하부면은 평평하지만, 하부면(312a-23)의 상부면과 상부돔(312b-23)의 상부면은 모두 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 상부돔(312b-23) 상부면 위의 중심 부분에는 유전체막(350-32) 및 코일 부싱(210-44)이 순차적으로 배치된다. 유전체막(350-32)의 상부면 또한 상부돔(312b-23)의 상부면과 같이 볼록하게 돌출된 형상으로 이루어진다. 그러나 코일 부싱(210-44)의 상부면은 오목하게 함몰된 형상으로 이루어진다. 함몰된 코일 부싱(210-44)의 상부 표면 중심에는 지지 봉(211-44)이 배치된다. 평탄막(360-44)의 상부면은 평평하지만, 상부돔(312b-23)의 상부면과 접하는 하부면은 곡선으로 이루어진다. 코일 부싱(210-44) 둘레에는 평탄막(360-44) 및 열 방출막(340-44)이 순차적으로 배치된다. 열 방출막(340-44) 내부에는 복수개의 단위 코일들(201-44, 202-44, 203-44)이 배치된다.

도 14 내지 도 47을 참조하여 설명한 본 발명의 여러 실시예들에 따른 플라즈마 챔버의 돔 구조들 및 그에 따른 코일 구조들은 단지 예시로서, 이 외에도 다른 여러 형태 및 형상의 돔 구조와 코일 구조가 사용될 수도 있다는 것은 당연하다.

도 48a 및 도 48b는 본 발명에 따른 플라즈마 챔버의 적용예, 특히 도 15 및 도 17의 플라즈마 챔버의 적용예를 설명하기 위하여 나타내 보인 단면도들이다. 그리고 도 49는 도 15 및 도 17의 플라즈마 챔버를 사용하여 식각공정을 수행한 경우에서의 반도체웨이퍼 위치와 다른 식각률 변화를 각각 나타내 보인 그래프이다.

먼저 도 48a 및 도 48b를 참조하면, 플라즈마 챔버 내에 로딩되어 식각되는 반도체웨이퍼(308)는 일정한 패턴들을 갖는다. 예컨대 반도체웨이퍼(308) 표면상에는 폴리실리콘막패턴(308a)이 형성된다. 이 폴리실리콘막패턴(308a)은 절연막(미도시)을 개재하여 게이트도전막으로 사용될 수 있으며, 또는 반도체웨이퍼(308) 표면위에 직접 형성되거나 다른 막 위에 형성됨으로써 다른 용도로 사용될 수도 있다. 이 폴리실리콘막패턴(308a)은 반도체웨이퍼(308)의 중심부(308C)에도 배치되며, 가장자리부(308E)에도 배치된다. 이와 같은 폴리실리콘막패턴(308a)을 형성하기 위해서는 반도체웨이퍼(308) 표면 위에 폴리실리콘막을 형성하고, 그 위에 다시 마스크막패턴(미도시)을 형성한다. 그리고 이 마스크막패턴을 식각마스크로 한 식각공정을 수행하여 마스크막패턴에 의해 노출된 폴리실리콘막을 제거하면, 도시된 바와 같은 폴리실리콘막패턴(308a)을 만들 수 있다.

그런데 상기 식각공정으로서 플라즈마를 이용한 식각공정을 이용할 경우, 즉 플라즈마 반응챔버에 폴리실리콘막 및 마스크막패턴이 형성된 반도체웨이퍼(308)를 로딩한 후에 식각공정을 진행할 경우 반도체웨이퍼(308)의 모든 영역에 걸쳐서 고르게 식각되는 경우에는 문제가 없지만, 경우에 따라서는 다음의 두 경우와 같이 문제가 발생할 수 있다.

먼저 첫 번째로 도 48a에 도시된 바와 같이, 반도체웨이퍼(308)의 중심부(308C)에서는 식각이 완전히 이루어진 반면에 가장자리부(308E)에서 식각이 불완전하게 이루어지는 경우가 발생할 수 있다. 이는 플라즈마 반응챔버의 중심부에서보다 가장자리부에서의 플라즈마 밀도가 낮은 것이 원인이 되어 발생할 수 있으며, 결과적으로 도 49에서 참조부호 "501"로 나타낸 바와 같이, 반도체웨이퍼(308)의 중심부(308C)에서의 식각률이 반도체웨이퍼(308)의 가장자리부(308E)에서의 식각률보다 더 높기 때문이다. 따라서 이 경우에는 플라즈마 반응챔버의 중심부에서의 플라즈마 밀도를 감소시키거나, 또는 플라즈마 반응챔버의 가장자리부에서의 플라즈마 밀도를 증가시켜 주는 것이 요구된다. 결국 이 경우에는 도 15에 도시된 바와 같은 플라즈마 반응챔버 구조를 사용하는 것이 바람직하다. 즉 도 15의 플라즈마 반응챔버는 상부면이 상부 방향을 향해 볼록하게 돌출된 형상을 갖는 코일 부싱(210-12)을 구비하며, 이와 같이 중심부에서의 돌출 부분으로 인해 두께가 상대적으로 두꺼운 코일 부싱(210-12)에 의해 플라즈마 반응챔버의 중심부에서의 플라즈마 밀도를 감소시킬 수 있으며, 결과적으로 반도체웨이퍼(308)의 가장자리부(308E)에서의 식각률과 중심부(308C)에서의 식각률을 균일하게 하게 해준다.

다음에 두 번째로 도 48b에 도시된 바와 같이, 반도체웨이퍼(308)의 가장자리부(308E)에서는 식각이 완전히 이루어진 반면에 중심부(308C)에서 식각이 불완전하게 이루어지는 경우가 발생할 수 있다. 이는 플라즈마 반응챔버의 가장자리부에서보다 중심부에서의 플라즈마 밀도가 낮은 것이 원인이 되어 발생할 수 있으며, 결과적으로 도 49에서 참조부호 "502"로 나타낸 바와 같이, 반도체웨이퍼(308)의 중심부(308C)에서의 식각률이 반도체웨이퍼(308)의 가장자리부(308E)에서의 식각률보다 더 낮기 때문이다. 따라서 이 경우에는 플라즈마 반응챔버의 중심부에서의 플라즈마 밀도를 증가시키거나, 또는 플라즈마 반응챔버의 가장자리부에서의 플라즈마 밀도를 감소시켜 주는 것이 요구된다. 결국 이 경우에는 도 17에 도시된 바와 같은 플라즈마 반응챔버 구조를 사용하는 것이 바람직하다. 즉 도 17의 플라즈마 반응챔버는 상부면이 플라즈마 반응챔버를 향해 오목하게 함몰된 형상을 갖는 코일 부싱(210-14)을 구비하며, 이와 같이 중심부에서의 함몰 부분으로 인해 두께가 상대적으로 얇은 코일 부싱(210-14)에 의해 플라즈마 반응챔버의 중심부에서의 플라즈마 밀도를 증가시킬 수 있으며, 결과적으로 반도체웨이퍼(308)의 가장자리부(308E)에서의 식각률과 중심부(308C)에서의 식각률을 균일하게 하게 해준다.

상기 첫 번째 예에서와 같이, 중심부에서의 식각률을 감소시키고자 하는 경우에는 도 15의 플라즈마 반응챔버 구조 이외에도 도 15, 도 18, 도 20, 도 21, 도 32, 도 33, 도 38, 도 41, 도 43 및 도 46에 각각 도시된 플라즈마 반응챔버 구조도 적용될 수 있다. 마찬가지로 상기 두 번째 예에서와 같이, 중심부에서의 식각률을 증가시키고자 하는 경우에는, 도 17의 플라즈마 반응챔버 구조 이외에도 도 19, 도 21, 도 24, 도 31, 도 34, 도 39, 도 40, 도 44 및 도 47에 각각 도시된 플라즈마 반응챔버 구조도 적용될 수 있다.

발명의 효과

이상 설명한 바와 같이, 본 발명에 따른 균일한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조 및 이를 이용한 플라즈마 챔버에 따르면, 웨이퍼 가장자리 부분에 대응하는 영역에서의 플라즈마 밀도를 효율적으로 증대시키고, 웨이퍼 중심 부분에 대응하는 영역에서의 플라즈마 밀도는 효율적으로 감소시킴으로써, 플라즈마 챔버 내부에서의 플라즈마 분포를 균일하게 할 수 있다는 효과를 제공한다. 이 외에도 소스 파워가 대략 100W만이 소모되는데, 종래의 경우 대략 1000W 이상의 소스 파워가 소모되는 것과 비교하면, 에너지 절감, 열 발생 저하 등의 효과가 제공된다는 것을 쉽게 알 수 있다. 또한 이와 같이 소스 파워가 적게 소모됨으로써, 특히 플라즈마 챔버의 돔의 재질을 알루미늄(Al_2O_3) 재질을 사용할 수 있다. 보다 구체적으로 설명하면 알루미늄 재질의 경우 높은 소스 파워 인가시 알루미늄 성분이 챔버 내부로 분해되어 파티클의 주요 소스로서 작용한다. 그러나 본원 발명에 따른 플라즈마 챔버에서와 같이, 대략 100W 이하의 소스 파워하에서는 이와 같은 알루미늄 분리 현상이 발생되지 않는다. 이 외에도 포토레지스트 선택비가 종래의 2.5:1에서 6:1로 크게 향상되었고, 식각 가스로서 탄소 성분이 포함된 가스를 사용하는 경우 종래의 경우 플라즈마 데미지로 인해 탄소 성분 오염 현상이 발생하는 반면에, 본 발명의 경우 플라즈마 데미지가 발생하지 않아서 탄소 성분 오염 현상이 거의 베어 웨이퍼와 동일한 수준으로 발생한다. 이 외에도 낮은 전기적 임피던스, 낮은 열 발생, 향상된 공정 반복성, 용이한 CD 조정 등의 장점들도 제공한다.

이상 본 발명을 바람직한 실시예를 들어 상세하게 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예에 한정되지 않으며, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의하여 여러 가지 변형이 가능함은 당연하다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

삭제

청구항 2.

전원으로부터의 전력을 인가 받아 소정의 반응 공간 내에 플라즈마가 형성되도록 하기 위한 플라즈마 발생을 위한 코일 구조에 있어서,

상기 전원으로부터 전력을 공급 받고, 속이 찬 입체 형태의 코일 부싱;

상기 코일 부싱으로부터 같은 평면 상으로 각각 연장되고, 상기 코일 부싱을 중심으로 나선 형태의 순환형으로 각각 배치되는 적어도 둘 이상의 단위 코일들을 포함하는 것을 특징으로 하는 코일 구조.

청구항 3.

제2항에 있어서,

상기 단위 코일 및 코일 부싱은 도일한 도전성 재질로 이루어진 것을 특징으로 하는 코일 구조.

청구항 4.

제2항에 있어서,

상기 단위 코일 및 코일 부싱은 구리 재질로 이루어진 것을 특징으로 하는 코일 구조.

청구항 5.

제2항에 있어서,

상기 코일 부싱은 원판 형상, 다각판 형상, 원기둥 또는 다각 기둥 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 코일 구조.

청구항 6.

삭제

청구항 7.

제2항에 있어서,

상기 코일 부싱은 상기 반응공간에 인접하게 배치된 제1 코일 부싱 및 상기 제1 코일 부싱 위에 배치된 제2 코일 부싱의 2층 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 코일 구조.

청구항 8.

제7항에 있어서,

상기 제1 코일 부싱은 절연체로 이루어지고, 상기 제2 코일 부싱은 도전체로 이루어지며, 상기 단위 코일은 상기 제2 코일 부싱으로부터 직접 연장되는 것을 특징으로 하는 코일 구조.

청구항 9.

제2항에 있어서,

상기 단위 코일은 원 형상, 원형의 도넛 형상, 사각 형상, 사각의 도넛 형상 또는 반원의 단면 형상을 포함하는 다각 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 코일 구조.

청구항 10.

제2항에 있어서,

상기 단위 코일은, 상기 코일 부싱으로부터의 방사상 거리가 증가할수록 코일 사이의 간격이 점점 감소되는 배치 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 코일 구조.

청구항 11.

제10항에 있어서,

상기 코일의 단면적은, 상기 공통 중심으로부터 방사상 거리가 증가할수록 점점 더 감소하는 것을 특징으로 하는 코일 구조.

청구항 12.

제2항에 있어서,

상기 단위 코일은 상기 코일 부싱으로부터 방사상 거리가 증가할수록 코일의 단면적이 점점 감소되는 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 코일 구조.

청구항 13.

측면의 외벽 및 상부의 돔을 가지며, 상기 외벽 및 돔 구조에 의해 플라즈마가 형성되는 반응 공간을 한정하는 챔버;

상기 챔버의 하부에 배치되어 처리될 반도체 웨이퍼를 안착하기 위한 지지대;

상기 돔 위에 배치되어 상기 플라즈마를 형성하기 위한 플라즈마 소스로서 작용하고, 속이 찬 입체 형태의 코일 부싱 및 상기 코일 부싱으로부터 같은 평면 상으로 각각 연장되고, 상기 코일 부싱을 중심으로 나선 형태의 순환형으로 각각 배치되는 적어도 둘 이상의 단위 코일들을 포함하는 것을 특징으로 하는 코일 구조;

상기 코일 부싱의 중앙 일정 영역에 배치된 지지봉; 및

상기 지지봉에 연결되어 상기 코일 구조로 전력을 공급하는 유도 전원을 포함하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 챔버.

청구항 14.

제13항에 있어서,

상기 코일 부싱 및 지지봉은 상기 단위 코일과 동일한 도전성 재질로 이루어진 것을 특징으로 하는 플라즈마 챔버.

청구항 15.

제14항에 있어서,

상기 단위 코일, 코일 부싱 및 지지봉은 구리 재질로 이루어진 것을 특징으로 하는 플라즈마 챔버.

청구항 16.

제13항에 있어서,

상기 코일 부싱은 원 형상, 다각판 형상, 원기둥 또는 다각 기둥 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 플라즈마 챔버.

청구항 17.

삭제

청구항 18.

삭제

청구항 19.

제13항에 있어서,

상기 코일 부상은 상기 반응공간에 인접하게 배치된 제1 코일 부상 및 상기 제1 코일 부상 위에 배치된 제2 코일 부상의 2층 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 플라즈마 챔버.

청구항 20.

제19항에 있어서,

상기 제1 코일 부상은 절연체로 이루어지고, 상기 제2 코일 부상은 도전체로 이루어지며, 상기 단위 코일은 상기 제2 코일 부상으로부터 직접 연장되는 것을 특징으로 하는 플라즈마 챔버.

청구항 21.

제13항에 있어서,

상기 단위 코일은 원 형상, 원형의 도넛 형상, 사각 형상 사각의 도넛 형상, 또는 반원의 단면 형상을 포함하는 다각 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 플라즈마 챔버.

청구항 22.

제13항에 있어서,

상기 단위 코일은, 상기 코일 부상으로부터의 방사상 거리가 증가할수록 코일 사이의 간격이 점점 감소되는 배치 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 플라즈마 챔버.

청구항 23.

제22항에 있어서,

상기 코일의 단면적은, 상기 공통 중심으로부터 방사상 거리가 증가할수록 점점 더 감소하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 챔버.

청구항 24.

제13항에 있어서,

상기 단위 코일은 상기 코일 부상으로부터의 방사상 거리가 증가할수록 코일의 단면적이 점점 감소되는 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 플라즈마 챔버.

청구항 25.

제13항에 있어서,

상기 돔은 알루미나 재질인 것을 특징으로 하는 플라즈마 챔버.

청구항 26.

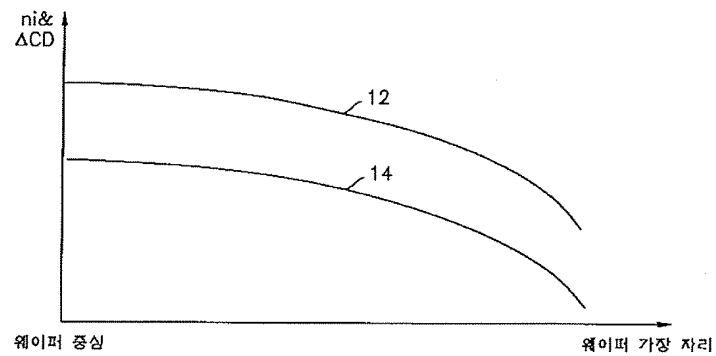
제13항에 있어서, 상기 돔은,

제1 유전율을 갖는 재질로 구성되며 상기 반응 공간으로 노출되는 하부돔; 및

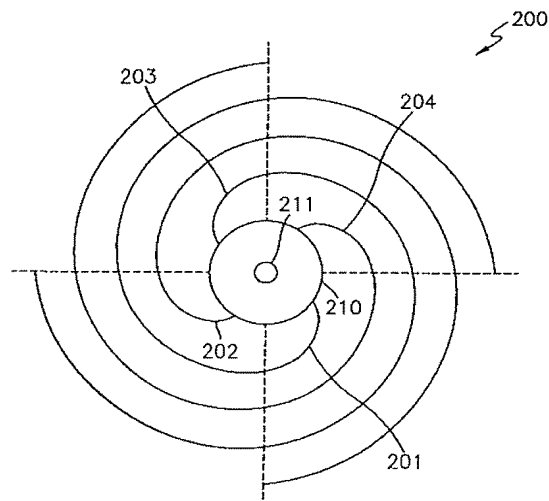
상기 제1 유전율과 다른 제2 유전율을 갖는 재질로 구성되며 상기 하부돔 위에 배치되는 상부돔을 포함하는 것을 특징으로 하는 플라즈마 챔버.

도면

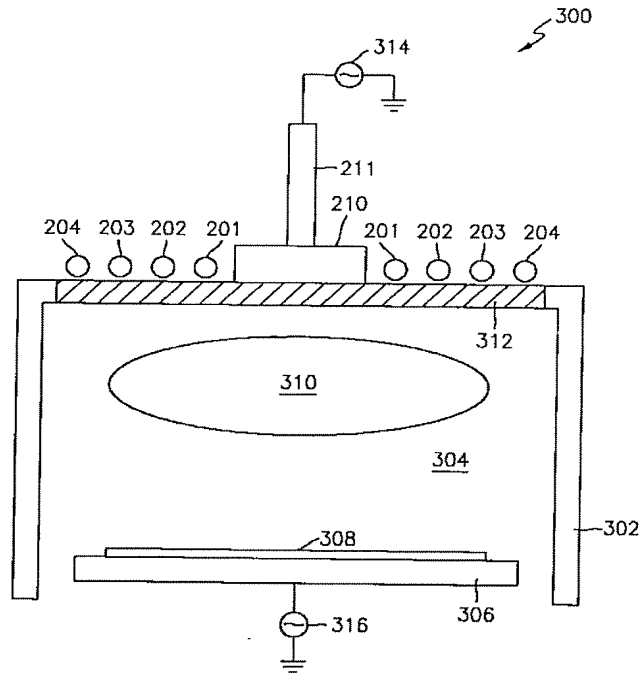
도면1



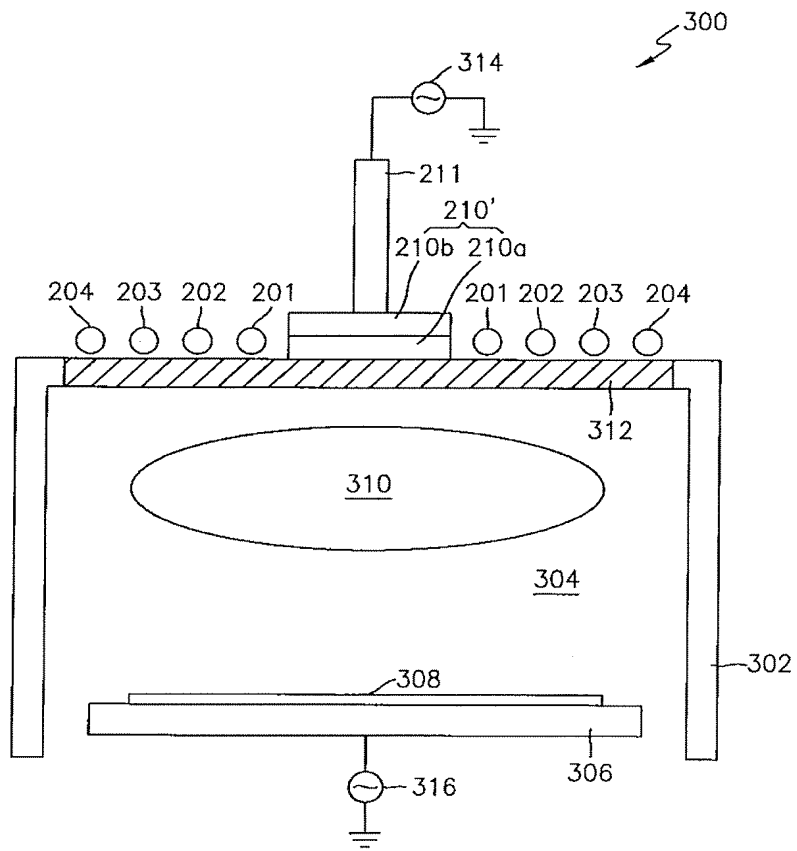
도면2



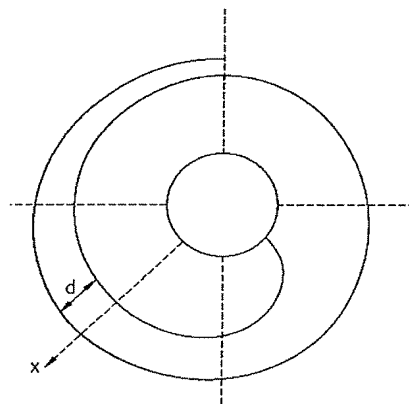
도면3



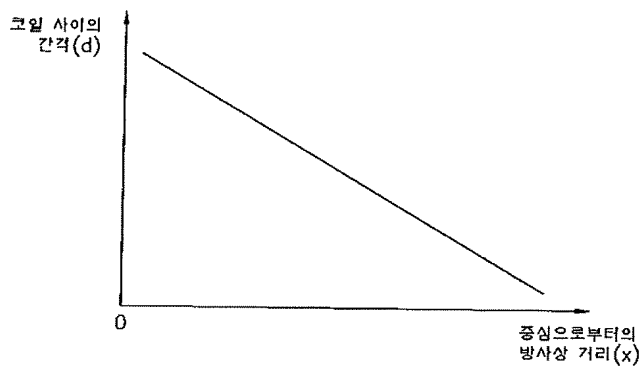
도면4



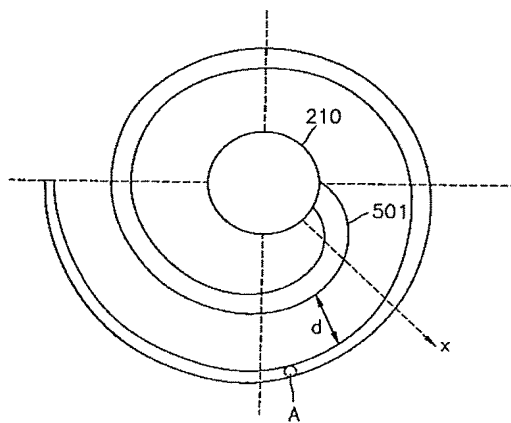
도면5a



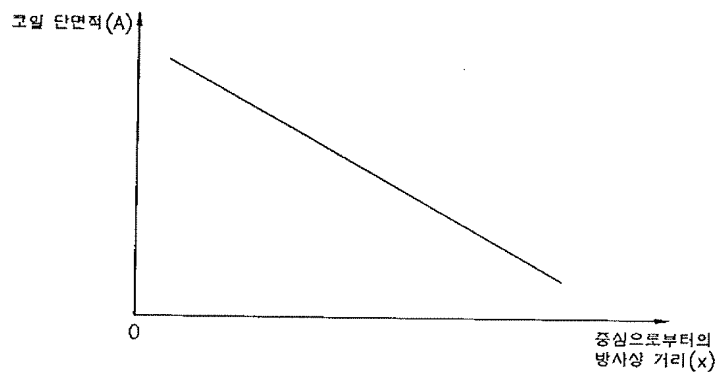
도면5b



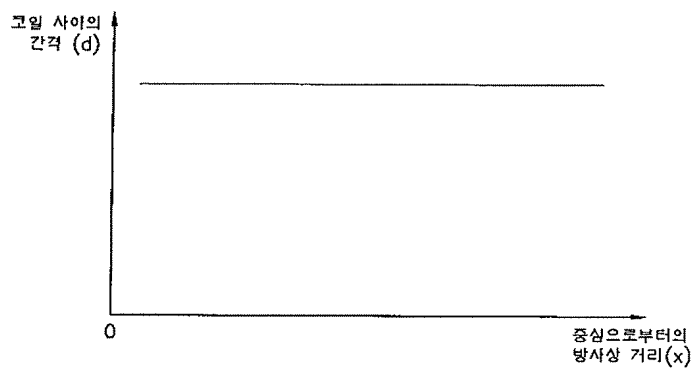
도면6a



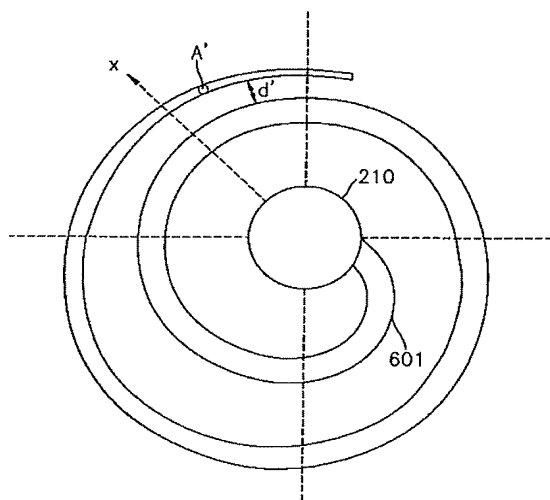
도면6b



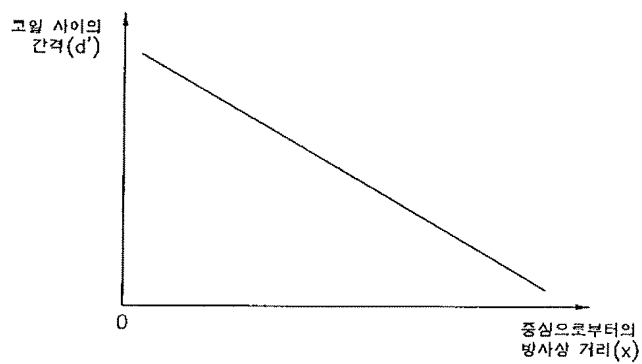
도면6c



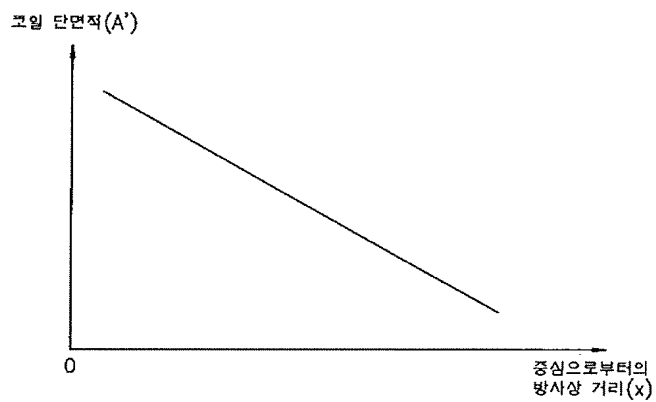
도면7a



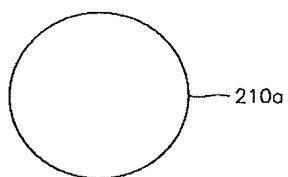
도면7b



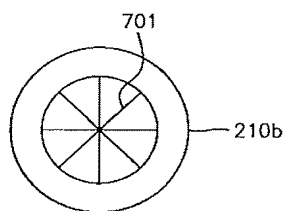
도면7c



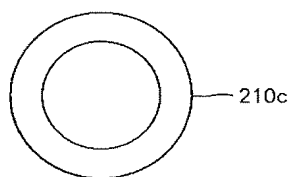
도면8a



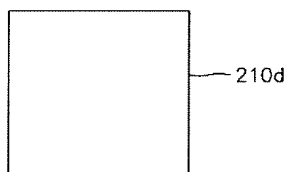
도면8b



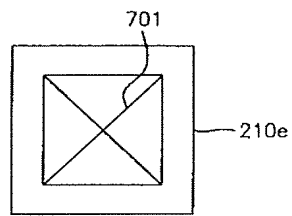
도면8c



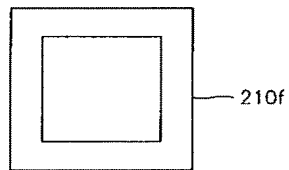
도면8d



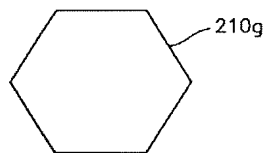
도면8e



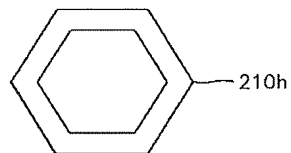
도면8f



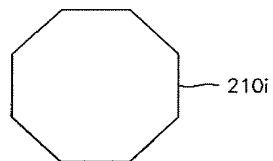
도면8g



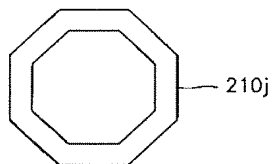
도면8h



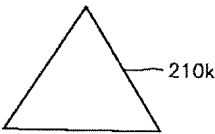
도면8i



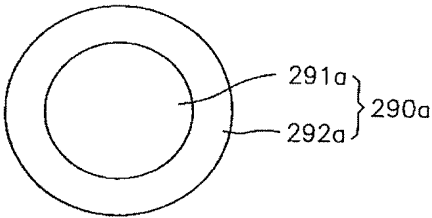
도면8j



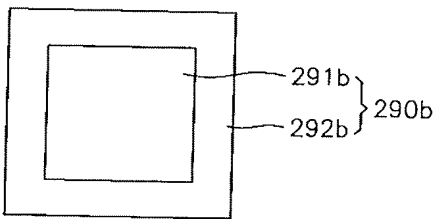
도면8k



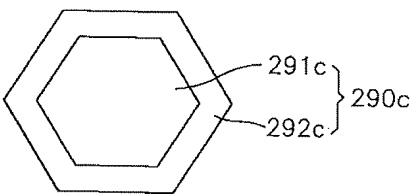
도면9a



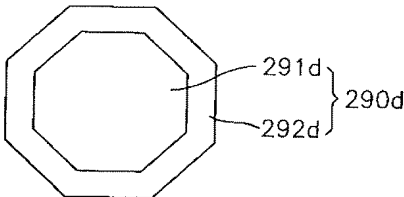
도면9b



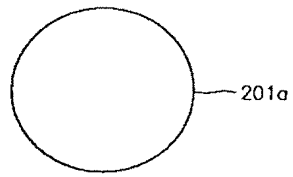
도면9c



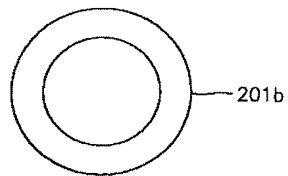
도면9d



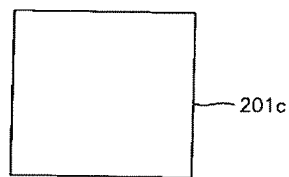
도면10a



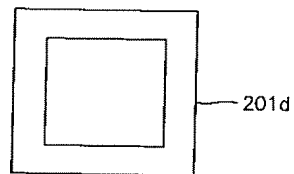
도면10b



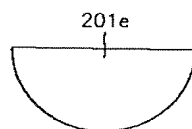
도면10c



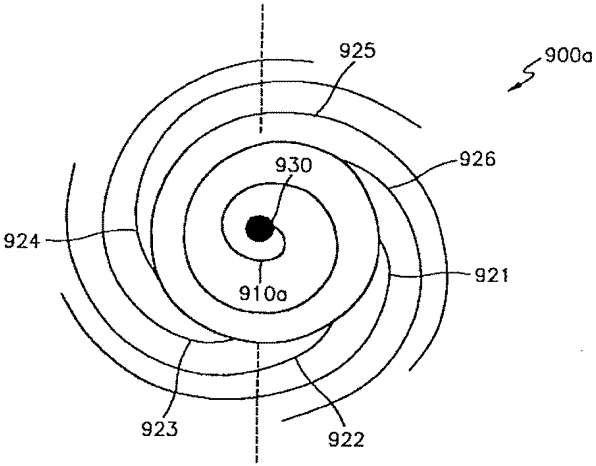
도면10d



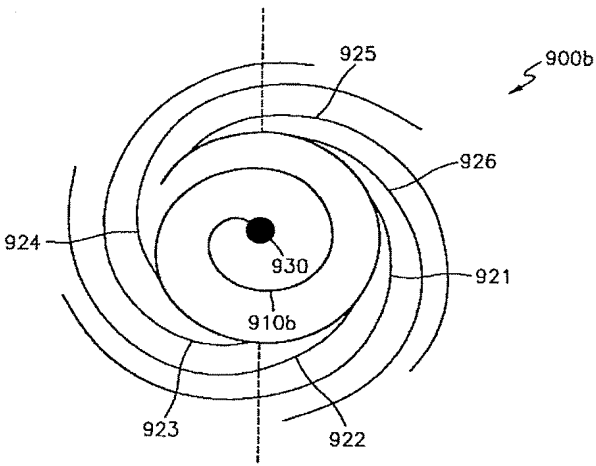
도면10e



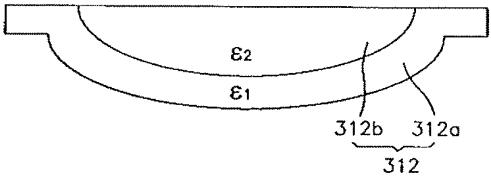
도면11



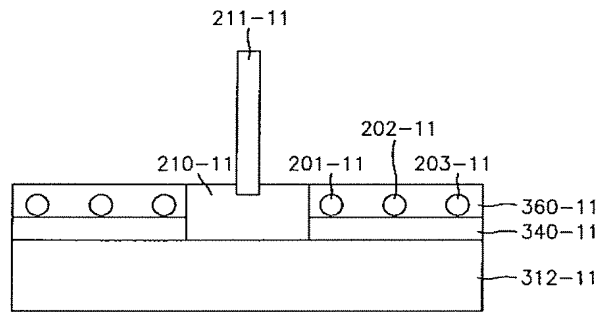
도면12



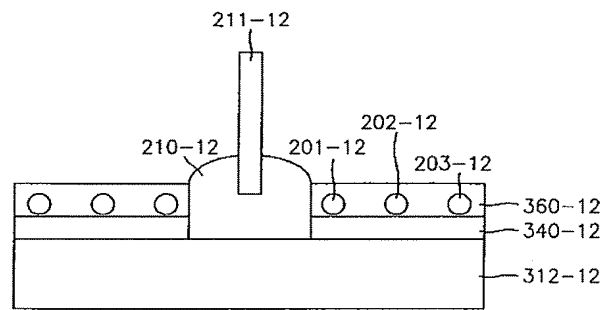
도면13



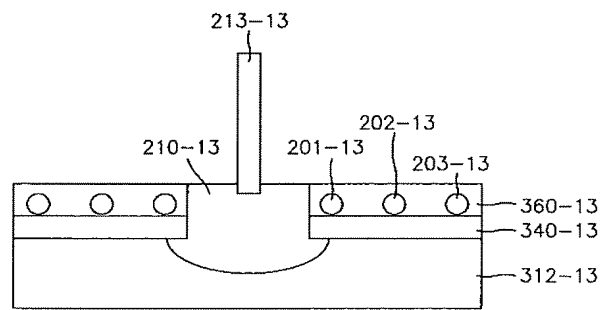
도면14



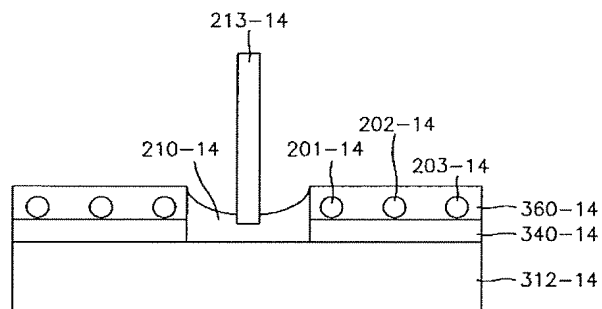
도면15



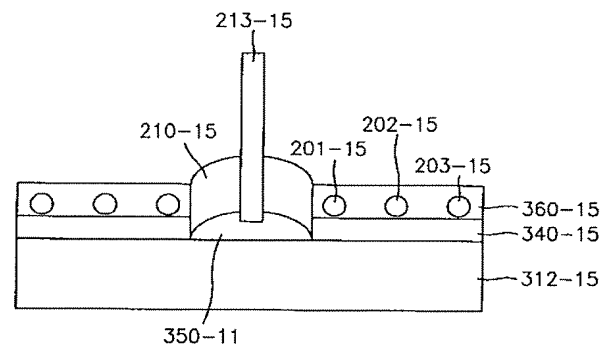
도면16



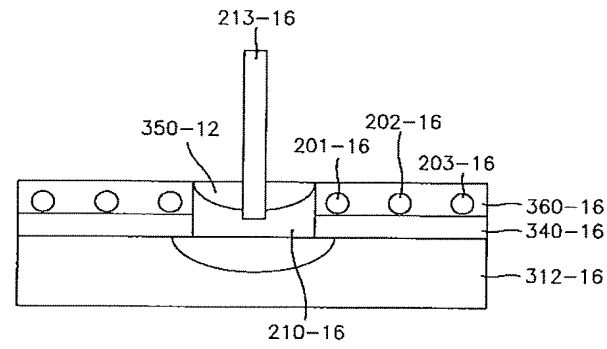
도면17



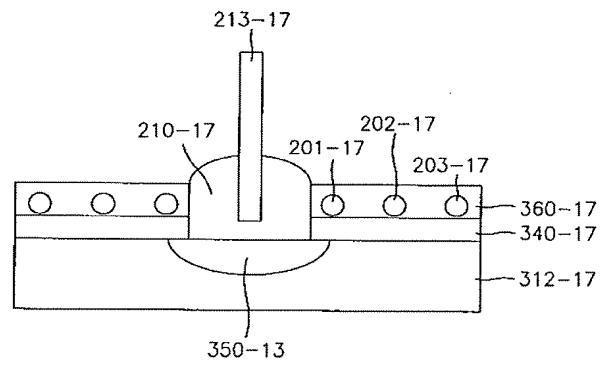
도면18



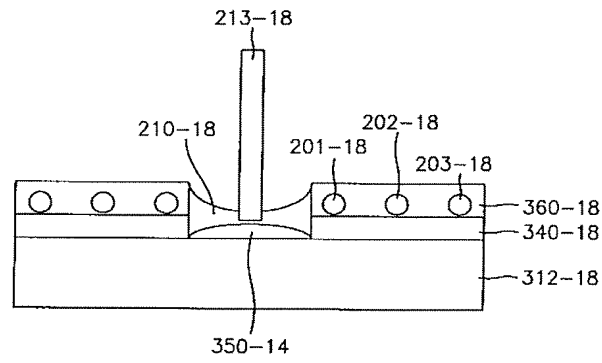
도면19



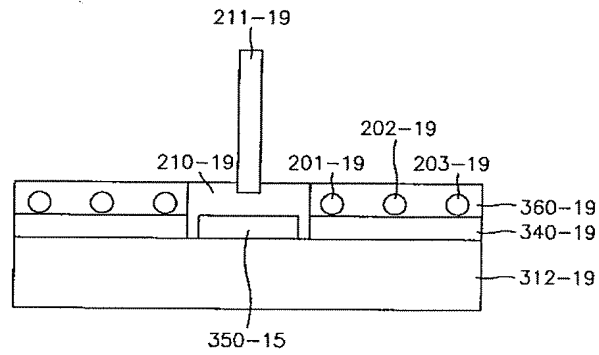
도면20



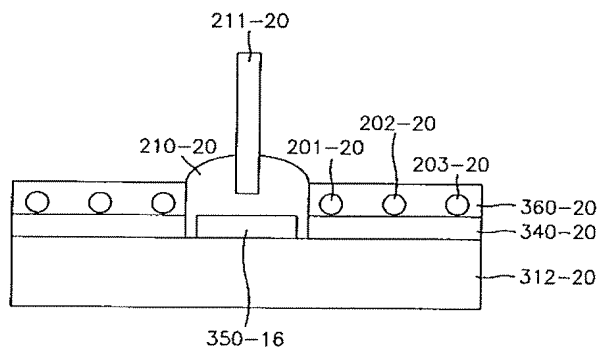
도면21



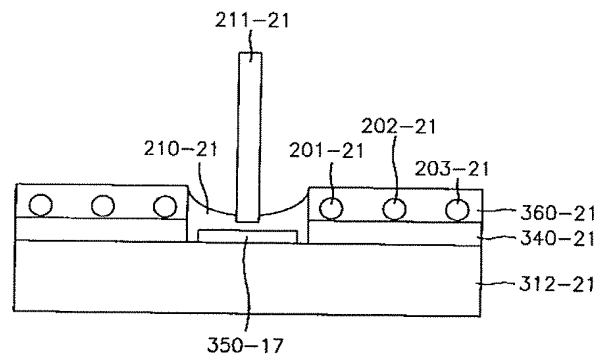
도면22



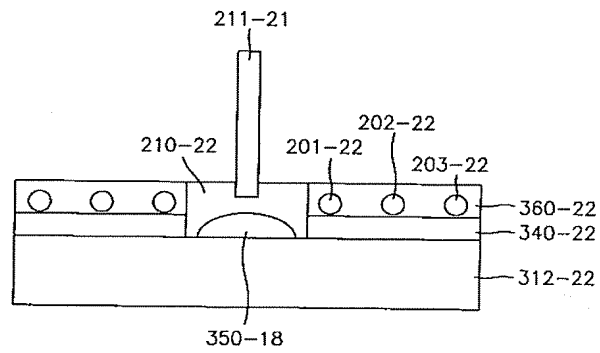
도면23



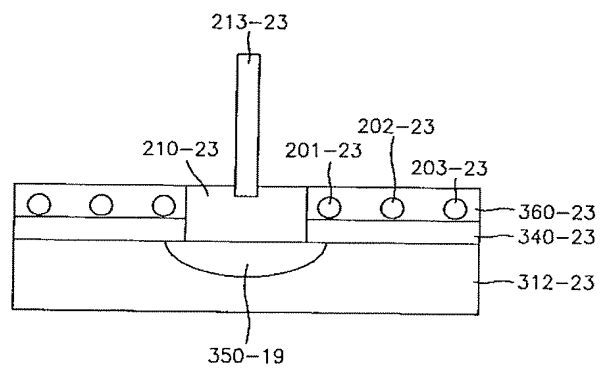
도면24



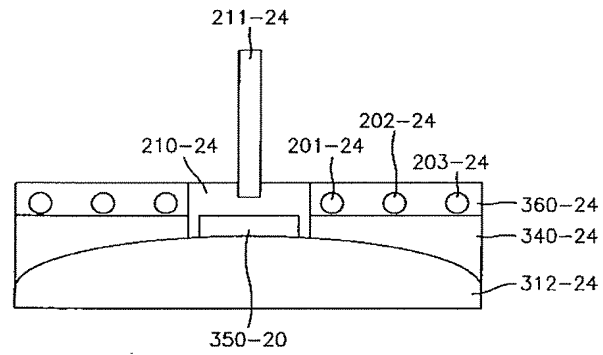
도면25



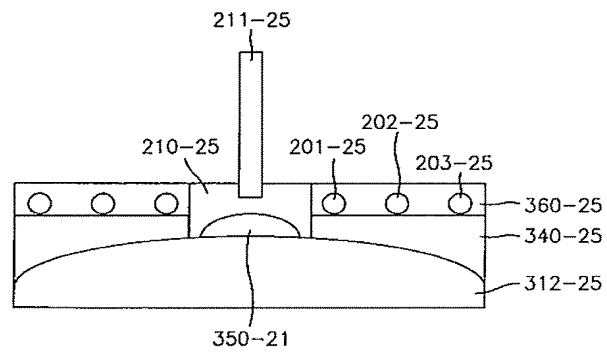
도면26



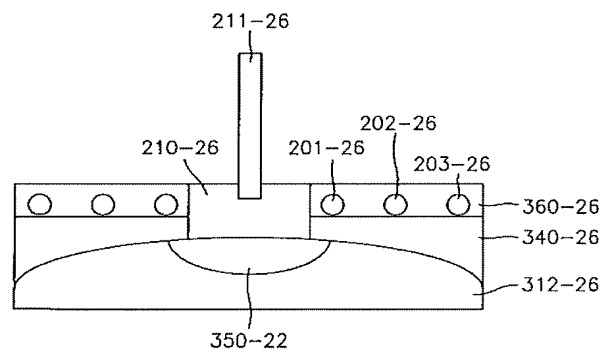
도면27



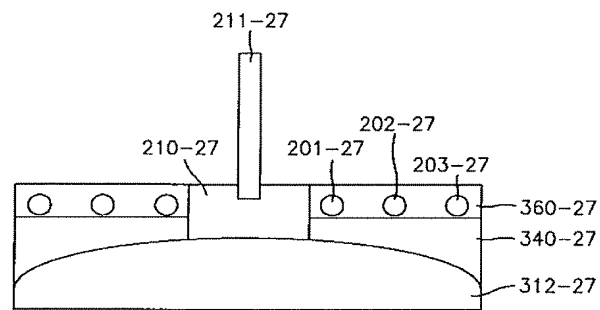
도면28



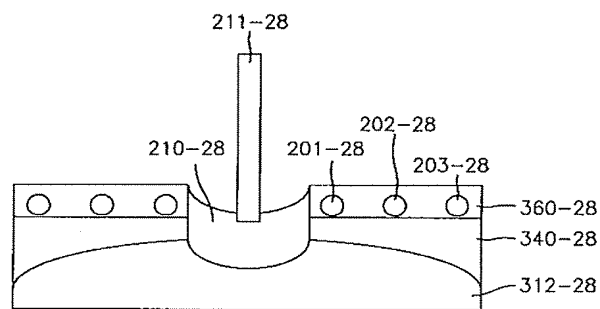
도면29



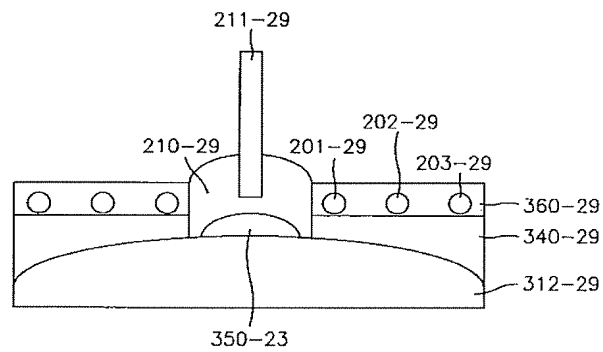
도면30



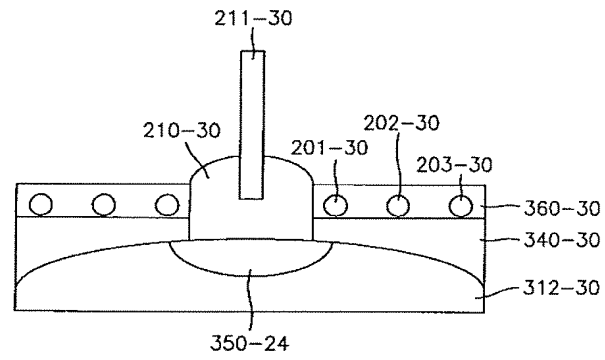
도면31



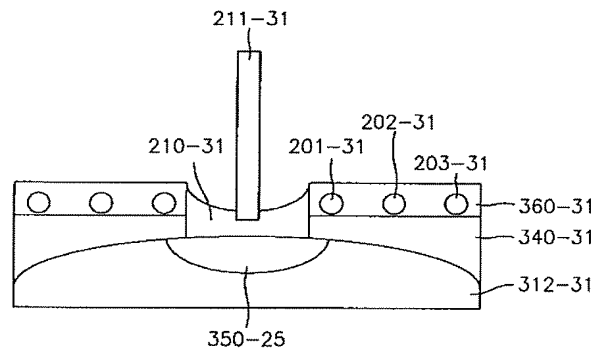
도면32



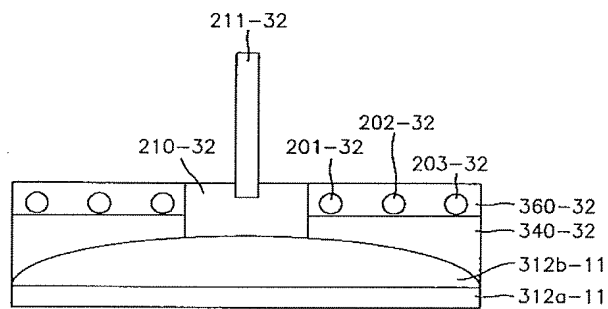
도면33



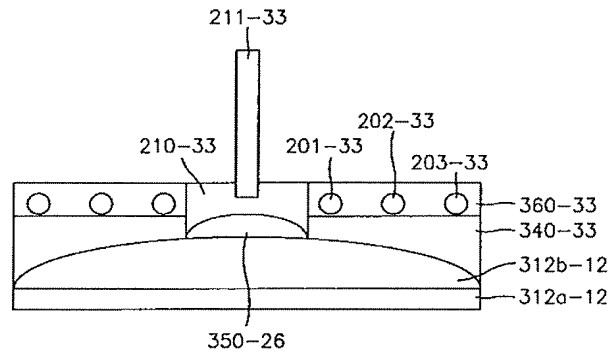
도면34



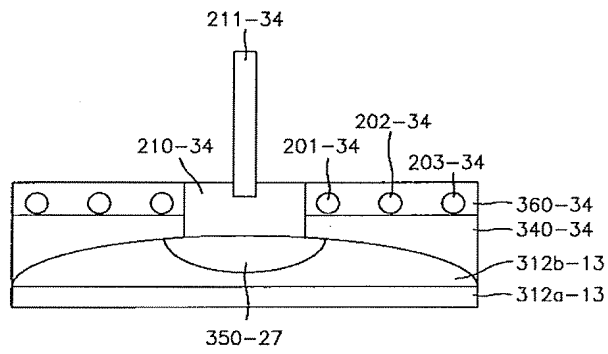
도면35



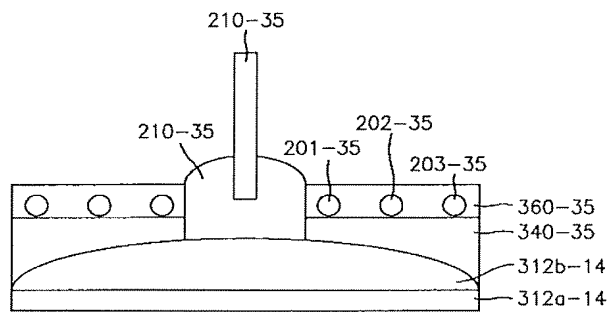
도면36



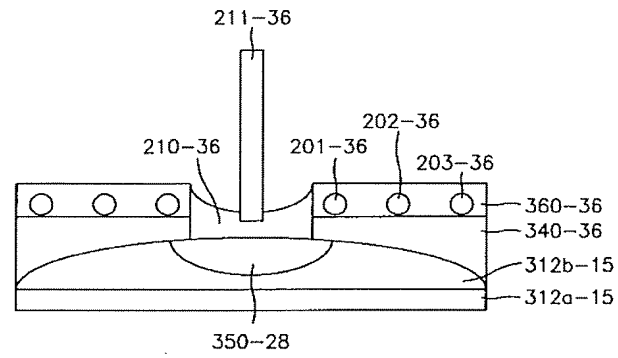
도면37



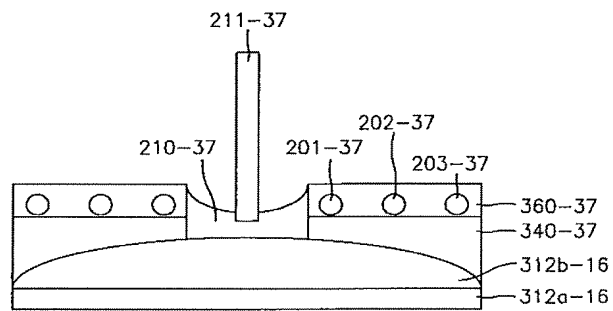
도면38



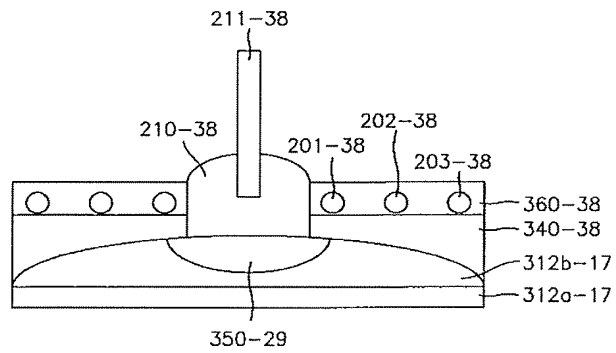
도면39



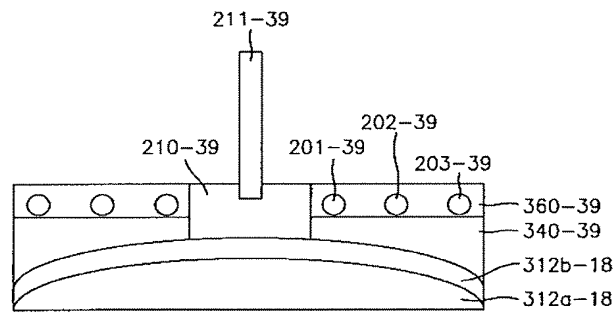
도면40



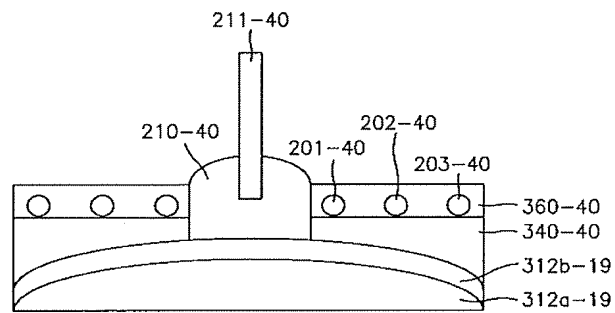
도면41



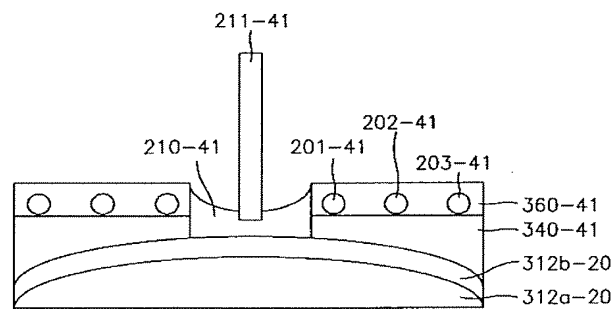
도면42



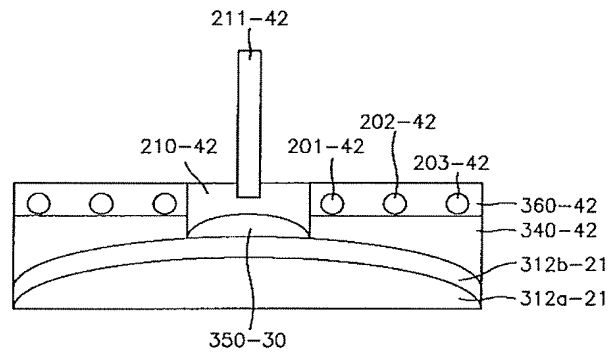
도면43



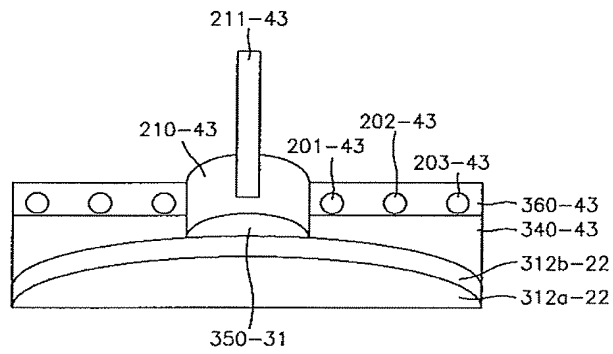
도면44



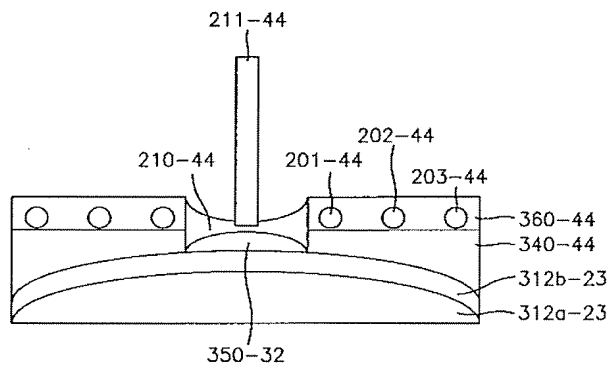
도면45



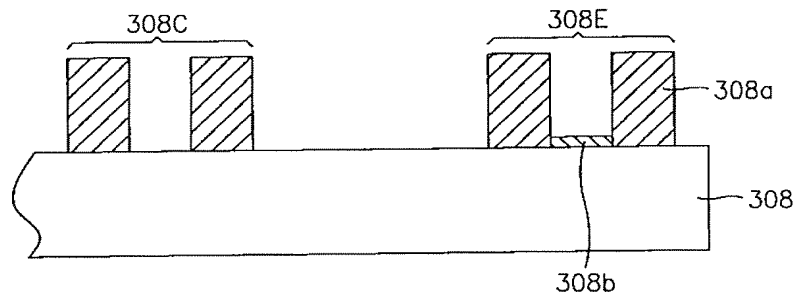
도면46



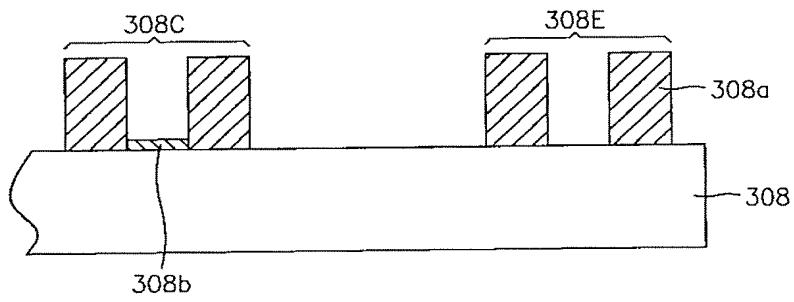
도면47



도면48a



도면48b



도면49

